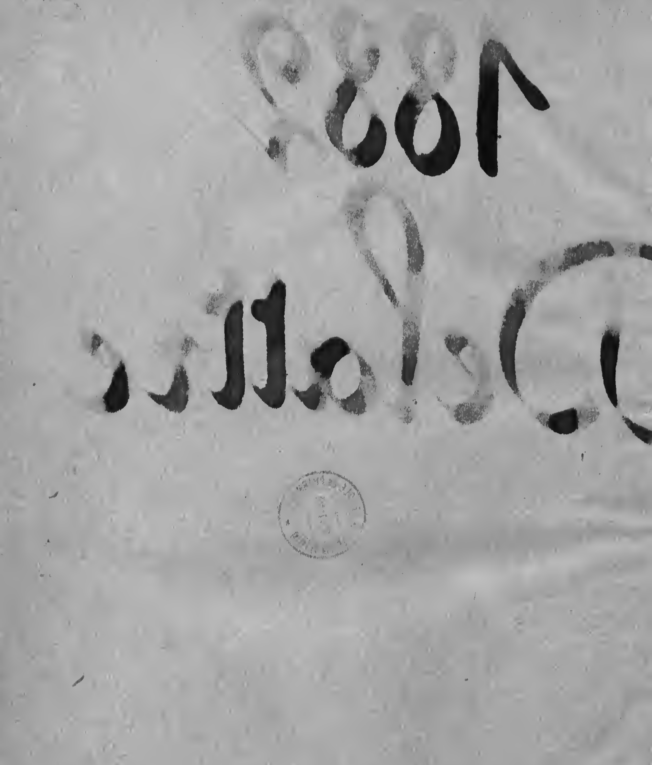
1882

Delattre



ECOLE SUPERIEURE DE PHARMACIE DE PARIS.

ETUDE

SUR LES

GISEMENTS FRANÇAIS

DE PHOSPHATE DE CHAUX

NOTE SUR LA DÉCOMPOSITION DU PHOSPHATE BICALCIQUE PAR L'EAU

THÈSE

PRESENTÉE ET SOUTENUE A L'ECOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS

PAR

CHARLES DELATTRE

Ex-interne des hôpitaux de Paris,
Membre de la Société chimique et de la Société d'émulation
pour les sciences pharmaceutiques.



PARIS
TYPOGRAPHIE DE A. PARENT, A. DAVY, SUCCESSEUR
31, RUE MONSIEUR-LE-PRINCE, 31

1882



ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE
DE PARIS

MM. CHATIN, Directeur.

ADMINISTRATEURS

MM. CHATIN, Directeur.
MILNE-EDWARDS, Professeur.
PLANCHON, Professeur.

PROFESSEURS.

MM.	CHATIN	Botanique.
	MILNE-EDWARDS	Zoologie.
	PLANCHON	Histoire naturelle des médicaments.
	BOUIS	Toxicologie.
	BAUDRIMONT	Pharmacie chimique.
	RICHE	Chimie inorganique.
	LE ROUX	Physique.
	JUNGFLEISCH	Chimie organique.
	BOURGOIN	Pharmacie galénique.
	MARCHAND	Cryptogamie.
	BOUCHARDAT	Hydrologie et Minéralogie.

COURS COMPLÉMENTAIRE :

M. PRUNIER, Chimie analytique.

PROFESSEUR HONORAIRE

M. BERTHELOT.

AGRÉGÉS EN EXERCICE :

MM. J. CHATIN.
BEAUREGARD.
CHASTAING.

MM. PRUNIER.
QUESNEVILLE.

M. MADOULÉ, *Secretaire.*

A LA MÉMOIRE DE MON PÈRE

A MA MERE

A MES FRÈRES ET SŒUR

A M. LE DOCTEUR BOURGOIN

Professeur à l'Ecole supérieure de pharmacie
Pharmacien en chef de l'hôpital des Enfants-Malades,
Membre de l'Académie de médecine, etc.

A M. DESAILLY

De Grandpré (Ardennes).

ÉTUDE

SUR LES

GISEMENTS FRANÇAIS

DE PHOSPHATE DE CHAUX



HISTORIQUE.

En 1698, Vauban disait, dans la *Dîme royale* : « Il y a long-« temps qu'on s'est aperçu et qu'on se plaint que les biens « de campagne rendent moins qu'ils ne rendaient autre-« fois ; peu de personnes ont pris la peine d'examiner à « fond quelles sont les causes de cette diminution qui se « fera sentir de plus en plus, si on n'y apporte le remède « convenable. » Et cependant, ces paroles de l'illustre ingénieur n'éveillèrent pas l'attention des agronomes et des savants : les causes restant ignorées, on ne pouvait apporter le remède convenable.

Au commencement de ce siècle, en 1804, de Saussure,

complétant les indications de Vauban, écrivait : « Le phos-
« phate de chaux contenu dans un animal ne fait peut-être « pas la 5/100ᵉ partie de son poids ; personne ne doute « cependant que ce sel ne soit essentiel à la constitution « des os. J'ai trouvé ce sel dans les cendres de toutes les « plantes que j'ai examinées, et l'on n'a aucun motif pour « admettre qu'elles puissent exister sans lui. »

Cependant, l'emploi des engrais phosphatés ne se répandit qu'avec une extrême lenteur. C'est à Thiers (Puy-de-Dôme) que paraît s'être faite la première application des os comme engrais. Mais c'est surtout en Allemagne et en Angleterre que l'emploi des os pulvérisés pour l'agriculture prit la plus grande extension. Selon Friederich Ebner, c'est en Angleterre que l'on vit fonctionner la première usine pour le broyage des os. Notons cependant que la découverte des phosphates naturels était déjà un fait accompli : Berthier avait signalé des gisements de chaux phosphatée, disséminés en rognons ou nodules dans la craie chloritée du cap la Hève (*Journal des mines*, 1820). Mais les cultivateurs employaient les os sans s'expliquer les causes des résultats obtenus. Ce qu'ils savaient, c'est que ces résultats étaient excellents ; aussi les os furent tellement demandés dans le commerce, que les Anglais en manquèrent, malgré la consommation énorme de viande qui se fait dans leur pays. En 1822, l'Angleterre fit venir d'Allemagne plus de 30,000 kilogrammes d'ossements recueillis sur les champs de bataille des dernières guerres, et bien longtemps après la découverte et l'application des phosphates naturels, vers 1868, le même pays reçut de Sébastopol un chargement de 230 tonnes d'os, que l'on supposa provenir des guerres de Crimée.

En 1826, il existait en France et surtout en Alsace plusieurs usines destinées au broyage des os ; un meunier

d'Alsace avait imaginé de les mélanger avec un dixième de leur poids de salpêtre pour les empêcher de fermenter, ne se doutant pas que cette formule, qu'il avait trouvée empiriquement, était une des meilleures que l'on puisse réaliser. A cette époque déjà, on avait employé comme engrais les noirs de raffinerie ; en 1822, Payen avait signalé les bons effets obtenus avec ce produit.

On ne savait encore à quelle cause attribuer les résultats constatés sur les récoltes. Les Chinois paraissent avoir été mieux renseignés que nous : ils savaient que le principe fertilisant résidait dans la partie minérale, puisque, depuis plusieurs siècles, ils emploient la cendre d'os comme engrais.

En 1830, Fawtier, sans désigner le principe actif des os, refusait toute action au phosphate de chaux qu'ils renferment : « Les os, disait-il, sont composés de matières « alcalines ou terreuses, de cartilages, de gélatine et de « graisse ; nous pouvons négliger un des composés ter- « reux, le phosphate de chaux, parce qu'étant indestruc- « tible et insoluble, il ne peut servir comme engrais, lors « même qu'il se trouverait placé dans un sol humide et « dans le voisinage immédiat des racines des plantes, c'est- « à-dire dans une combinaison de circonstances douées « d'une puissance analytique plus grande que tous les « procédés de la chimie inorganique. »

Plus tard, on attribua l'efficacité des os à la gélatine. Dans les *Mémoires de la Société royale d'agriculture*, Payen s'exprimait ainsi : « Les os ne renferment plus, « après avoir fermenté pendant quelques jours, que 2 0/0 « environ de gélatine et n'ont plus d'utilité sensible comme « engrais. »

Cependant, un autre courant d'idées tendait à s'établir. Polt, Margraff, Vauquelin, de Saussure avaient trouvé du

phosphate de chaux dans tous les végétaux où ils l'avaient recherché. Dans ses *Recherches chimiques sur la végétation* (an XII), Théodore de Saussure avait donné 75 analyses de cendres de végétaux, dans lesquels il avait constamment trouvé une notable proportion d'acide phosphorique. Il avait émis alors, le premier, l'idée que le phosphate de chaux était aussi indispensable aux plantes que le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote. Berthier avait répété les expériences de Th. de Saussure, mais d'une façon plus précise ; il avait fait séparément des analyses de tiges, branches, feuilles, graines, et démontré que, de tous les organes végétaux, ce sont les graines qui renferment le plus d'acide phosphorique : « Et il semble, ajoute-t-il, que « c'est seulement à la formation de ces organes de la fructification que l'acide phosphorique pénètre dans la « plante. »

En 1843, le duc de Richmond fit une série d'expériences directes sur le sol, en employant des os verts et des os dégélatinés ; il en conclut que le principe fertilisant des os n'était ni la graisse, ni la gélatine, mais le phosphate de chaux. Il fut même plus affirmatif en avançant que ce n'était pas la chaux, mais l'acide phosphorique qui était la partie active des os.

De nombreuses expériences, répétées les années suivantes par plusieurs savants, vinrent confirmer l'opinion du duc de Richmond. Boussingault, entre autres, exécuta une expérience concluante : il mit une plante dans un sol riche en principes azotés assimilables, et dépourvu d'acide phosphorique ; il vit cette plante ne prendre son accroissement qu'autant qu'on lui fournissait du phosphate de chaux.

C'est alors que l'on se demanda si l'on ne pouvait tirer

parti de la chaux phosphatée naturelle, sur laquelle Berthier, en 1818, avait attiré l'attention.

La présence de l'acide phosphorique dans diverses espèces minérales était déjà un fait connu depuis longtemps. Klaproth avait signalé notamment *l'apatite*, dans laquelle il avait trouvé : chaux 55, acide phosphorique 45 (*Journal de Bergmann*, 1778). Vauquelin (*Journal des mines*, t. XXXVII, et Pelletier (*Annales des mines*, t. XXVII) avaient publié également des analyses d'apatite. Dans un numéro du *Journal des mines*, de l'an III de la République, on fait connaître qu'un chimiste de Long-Champs, à la tête d'une usine à couperose verte fabriquée avec des pyrites, éprouvait quelquefois de grandes difficultés pour faire cristalliser ce sel ; cherchant à se rendre compte de ce phénomène, il reconnut que c'était une grande quantité de phosphate de fer qui entravait l'opération.

Les laves volcaniques contiennent une notable proportion d'acide phosphorique, et c'est sans doute à cette cause que les campagnes environnant le Vésuve ont dû la réputation de fertilité dont elles jouissaient du temps des Romains. Maintenant encore, elles sont activement cultivées, malgré les éruptions fréquentes qui ne permettent souvent d'espérer que des récoltes aléatoires.

C'est probablement aussi à la présence de l'acide phosphorique qu'il faut attribuer les résultats obtenus avec les marnes pyriteuses des Ardennes, résultats signalés par MM. Sauvage et Buvignier dans leur Statistique du département des Ardennes de 1842. « Les pyrites, disent-ils, « donnent naissance à du sulfate de chaux par leur réac- « tion sur la matière calcaire contenue dans ces marnes « et celle renfermée dans le sol ; le sulfate de chaux à l'état « naissant doit être très énergique ». — Ne serait-il pas plus rationnel d'admettre que ces marnes pyriteuses con-

tiennent une certaine proportion de phosphate et que la pyrite, par son oxydation, donne naissance à du phosphate acide de chaux ?

En 1851, des essais furent tentés en Angleterre pour utiliser le phosphate naturel en agriculture; à la même époque, Liebig proposa de mélanger la poudre de phosphate avec de l'acide sulfurique, pour rendre l'acide phosphorique immédiatement soluble. Cette méthode, qui est très répandue aujourd'hui, rencontra au début beaucoup de détracteurs : « Méthode déplorable, disait M. de Molon, qui « ne fait qu'augmenter le prix du phosphate, sans lui don- « ner de propriété sensible. »

Les phosphates naturels pulvérisés, et surtout les nodules des sables verts et de la gaize, sont assimilés par les plantes en notables proportions. M. Abadie, dans sa brochure, « *la clé des fumures* », donne le tableau suivant indiquant le degré d'assimilabilité de l'acide phosphorique dans quelques phosphates minéraux. (*Voir le tableau à la page suivante*).

En 1852, M. Meugy fit connaître la composition des terrains crétacés du Nord et des Ardennes, qui n'avait pas été donnée par MM. Sauvage et Buvigner dans leur *Statistique géologique du département des Ardennes*. Il y signale la présence de nodules phosphatés. Les premières exploitations ont été entreprises par M. Desailly et datent de 1855. Vers la même époque, en 1857, M. de Molon publia dans les Comptes-rendus une note, où il signala des gisements réguliers de chaux phosphatée dans 39 départements.

Les exploitations se multiplièrent, et rarement on vit un produit jouir d'une telle vogue, vogue justifiée, il est vrai, par les résultats obtenus, surtout dans les terrains acides de la Bretagne. Dans une période de dix ans, de 1852 à

1862, on défricha dans ce dernier pays au moins 100,000 hectares de landes ; l'arrondissement de Redon seul y entrait pour 20,000 hectares.

DESIGNATION DES PHOSPHATES.	ACIDE PHOSPHORIQUE par 100 kil.	ASSIMILABILITÉ
	kil.	p. cent.
Phosphate des Ardennes riche	23.61	34.26
— — richesse moyenne	18.88	30.40
— de Russie (nodules verts)	14.86	30.27
— du Lot n° 1	16.80	33.93
— — 2	20.70	30.90
— — 3	34.50	24.60
— — 4	31.80	21.24
— — 5	35.60	19.88
— — 6	21.60	15.62
— de l'Ain	16.51	26 52
— de la vallée du Rhône	23.00	25.56
— de Nassau	31.74	22.40
Coprolithes de Cambridge	23.80	21.84
Phosphate de Navassa	30.62	16.17
— du Nivernais	22.20	14.19
Apatite d'Espagne	31.14	13.16
— du Canada	32.01	Traces.

La production de phosphate en France a toujours été en croissant : en 1877, elle a dépassé 115,000 tonnes :

70,000 tonnes dans les Ardennes et la Meuse,
25,000 » le Quercy,
20,500 » le Boulonnais;

et encore, dans cette statistique, on ne comprend pas les phosphates de l'Auxois, dont l'exploitation ne remonte qu'au commencement de l'année 1877.

L'exportation a suivi la même progression; elle a été :

en 1872, de 3,160,355 k^{os} de phosphate naturel.
» 1873, de 14,172,624 » »
» 1874, de 25,622,726 » »

La presque totalité de ce phosphate est exportée en Angleterre ; une partie revient en France, transformée en superphosphate ; malgré les frais de transport, les superphosphates anglais luttent avantageusement sur le marché avec les produits français ; cela tient à ce qne les industriels anglais fabriquent eux-mêmes l'acide sulfurique qui leur revient à 3,50 les 100 kil.; en France, la fabrication de cet acide est le monopole de deux ou trois grandes compagnies, qui le vendent de 6 fr. 50 à 7 fr. 50 les 100 kil.

En 1861, on conseilla, en Angleterre, une application assez originale du phosphate naturel : on proposait de mélanger la poudre de phosphate aux aliments destinés aux bestiaux. Ce mode d'emploi présentait l'avantage que le phosphate non absorbé était rejeté avec les déjections dans le fumier. Inutile d'ajouter que cette méthode a été bien vite abandonnée.

Le phosphate de chaux est reconnu aujourd'hui dans plus de 50 départements français, mais il n'est exploité que dans 15 environ. Les recherches faites à l'étranger ont amené également la découverte et l'exploitation d'importants gisements, notamment dans les pays suivants:

Norwège. — En 1871, Peder Simonsen, en enfouissant un

vieux cheval, découvrit l'apatite de Norwège, dont l'exploitation régulière date de 1872.

Espagne. — *La phosphorite* de l'Estramadure est connue depuis très longtemps, mais les exploitations régulières datent de 1865. Au XIII[e] siècle, Bowles, savant anglais, chargé par Ferdinand IV, roi de Castille et de Léon, de faire la description des richesses naturelles de l'Espagne, avait signalé l'existence de la phosphorite à Logrosan : ce nom de *phosphorite* (en espagnol *fosforita*) est dû à ce que cette substance devient phosphorescente lorsqu'on la projette dans l'obscurité sur des charbons ardents. Les gisements de l'Estramadure furent décrits par Le Play (1834), par MM. Daubeny et Widdrington (1843), et plus tard, enfin, par Roswag, ingénieur des mines, et de Luna, chimiste espagnol.

Angleterre. — En 1863, un mineur découvrit un fragment de roche noire près de la ville de Llanfyllin (pays de Galles) ; on explora le ravin où ce produit avait été trouvé, et l'on constata la présence de la même roche noire en veine continue. On crut d'abord avoir affaire à du manganèse ou à un minerai de soufre. Des analyses exécutées par le D[r] Voelcker démontrèrent que cette substance n'était autre chose que du phosphate de chaux, dont la richesse variait entre 40 et 60 0/0.

Dans son discours anniversaire à la Société géologique de Londres, en 1849, sir Henry de la Bêche signalait, dans le comté de Cambridge, l'existence du phosphate de chaux enveloppant différents fossiles. Dans une petite localité de ce comté, à Farnham, se trouvent des gisement très importants et dont le rendement serait, d'après Fischer, de 270 tonnes à l'hectare.

Caroline du Sud. — La découverte des phosphates de la Caroline du Sud date de 1837, mais leur valeur économique ne fut reconnue que vers 1841-1842. On trouve, dans ce pays, d'immenses dépôts phosphatés qui remontent aux périodes quaternaire, tertiaire et secondaire ; ils dosent de 54 à 65 0[0 de phosphate.

Nassau. — En 1850, F. Sandberger signalait la présence de la phosphorite dans un minerai de manganèse, aux environs de Dietz. Plus tard, Meyer la découvrit dans les environs de Staffel, pays de Nassau ; l'exploitation date de 1863. Les géologues regardent généralement cette phosphorite comme appartenant à l'époque tertiaire ; sa richesse varie entre 60 et 80 0[0 de phosphate de chaux.

Belgique. — En 1866, MM. Cornet et Briard constatèrent à Ciply (province du Hainaut), l'existence du phosphate de chaux dans les galets et les moules de fossiles que l'on rencontre dans le poudingue de la Malogne. La présence de la chaux phosphatée dans cette contrée avait déjà été soupçonnée par Ch. Lehardy de Beaulieu. Ce poudingue présente des nodules arrondis ou irréguliers agglomérés dans un calcaire compacte. Ces nodules, séparés du calcaire, dosent de 50 à 55 de phosphate de chaux. La craie grise de Ciply, que ce poudingue recouvre, se compose d'un mélange de craie très friable et de grains très durs et très riches en phosphate. Cette craie grise dose de 25 à 33 0/0 de phosphate de chaux, mais, par des lavages méthodiques, on arrive à un richesse de 40 à 45; par la calcination et des lavages bien pratiqués, on peut l'amener à une richesse dépassant 60 de phosphate.

Le gisement de Ciply est un des plus importants que l'on connaisse : MM. Cornet et Briard estiment à 14,500,000

mètres cubes la quantité de craie grise qui recouvre environ 180 hectares : le mètre cube pèse en moyenne 1,500 kilogrammes « Si l'on admet, dit M. Melsens, que la « moyenne du poids de phosphate calcaire, contenu dans « l'homme vivant, femmes, enfants, adultes, vieillards, est « de 2 kilogrammes, la craie grise de Ciply contient de quoi « pourvoir au système osseux de plus de deux fois la population humaine du monde entier estimée à un milliard « d'habitants. »

Indépendamment de la craie grise, on trouve, à Ciply, des poches renfermant un phosphate jaune et pulvérulent dosant de 50 à 65 0/0 de phosphate réel.

On compte aussi en Belgique d'autres gisements moins importants, à Ramelot, entre autres, où l'on trouve la chaux phosphatée tantôt associée à des argiles ferrugineuses (Dewaelke, 1864), tantôt sous la forme concrétionnée et accompagnant la *limonite* (d'Ormélius et Dewaelke, 1866).

Russie. — Le pays le plus favorisé est sans contredit la Russie. Dans un article paru en mai 1872 dans le *Journal de l'agriculture pratique*, M. Yermolow s'exprime ainsi : « Nous ne croyons pas exagérer en affirmant que la Russie « centrale repose sur du phosphate de chaux, qu'elle « pourrait en paver la moitié de l'Europe, tant les couches « qu'elle renferme sont inépuisables de richesse. »

Les gisements qui s'étendent de la Desna au Don, à travers les gouvernements de Smolensk, d'Orel, de Koursh, de Voronéje, offrent une ligne d'affleurement d'environ 600 kilomètres de longueur, sur 100 à 150 de largeur. Le rendement approximatif est de 15 à 20,000 tonnes à l'hectare. Depuis longtemps déjà, on exploitait cette roche, nommée dans le pays *Samorod* (pierre noire, pierre cornue), pour la construction des maisons et le pavage des rues.

Ce n'est qu'en 1858 que Khodnew, Guillemin, Claus et plusieurs autres chimistes y constatèrent la présence du phosphate de chaux. On trouve en Russie les gisements de la craie blanche et ceux du grès vert, dosant l'un et l'autre de 20 à 60 0/0 de phosphate de chaux.

Le cadre restreint de ce travail ne nous permet pas de nous étendre plus longuement sur les phosphates étrangers, notre but étant d'étudier spécialement les phosphates français. Notons encore cependant les phosphates de *Curacao* dosant de 80 à 90 0/0 de phosphate; le guano de Bolivie, dosant 75, et celui de Méjillonès, d'une richesse un peu inférieure. Ces guanos sont recherchés à cause de leur teneur en phosphate et surtout à cause de leur couleur, la quantité d'azote étant négligeable, surtout dans les guanos de Bolivie, où elle ne s'élève que de 0,50 à 80 0/0.

La forme et la présence du phosphate de chaux dans les rognons de chaux phosphatée ont donné lieu à un grand nombre de théories sur lesquelles nous reviendrons dans le courant de ce travail. On ne sait pas encore d'une façon certaine à quelle cause on doit attribuer la formation de ces immenses dépôts ; cependant, l'opinion généralement admise est celle qui leur assigne une origine inorganique.

En 1857, Valenciennes, dans une séance de la Société centrale d'agriculture, exprimait l'idée que le phosphate minéral était constitué par des excréments antédiluviens, ceux des sauriens principalement ; ces excréments auraient été recouverts et enveloppés par une immersion de matières en fusion, à la suite des révolutions du globe. « Et la preuve « de ceci, ajoutait Valenciennes, c'est que le cœur de ces « rognons contient beaucoup de phosphate de chaux et que « l'enveloppe n'en contient presque pas. » Cette opinion ne peut être partagée, car, à l'exception des nodules de Bellegarde, l'acide phosphorique est répandu, d'une manière à

peu près uniforme, dans tous les rognons de phosphate de chaux. M. Dufrénoy, l'un des auteurs de la carte géologique de France, se ralliait à la théorie de Valenciennes. Ajoutons que ce dernier ne croyait pas à l'efficacité du phosphate.

L'opinion assignant aux excréments d'animaux l'origine du phosphate étant généralement répandue, on donnait à ces rognons de chaux phosphatée le nom de *coprolithes* (excréments pétrifiés). Il ne faudrait pas croire cependant qu'il n'existe pas de véritables excréments pétrifiés : on en trouve, mais ils sont très rares ; on doit leur réserver le nom de *coprolithes*, tandis que les nodules, offrant la forme d'excréments, doivent être désignés sous le nom de *pseudo-coprolithes*. Dans certaines contrées de l'Angleterre, entre autres à Lyme-Regis, on a trouvé des restes d'*ichthyosaure*, animal gigantesque dont la longueur dépasse parfois dix mètres. Dans l'intérieur de son corps on a pu voir encore des débris de la digestion, et, dans son voisinage, on a retrouvé des masses mamelonnées au milieu desquelles on découvre des dents, des os et des écailles de poissons : ces rognons sont incontestablement des excréments rejetés par cet animal, puisqu'ils se trouvent dans son voisinage et qu'ils présentent la plus grande analogie avec les débris de sa digestion.

En 1822, M. Buckland, en explorant la caverne de Kirkdale, dans le Yorkshire, découvrit des excréments d'hyènes.

Il existe également des excréments fossiles d'oiseaux et de poissons.

Dans la chaux phosphatée naturelle, la proportion de chaux est rarement assez élevée pour former du phosphate tribasique avec la totalité de l'acide phosphorique ; dans ce cas, une partie de l'acide phosphorique se trouve évidem-

ment à l'état de phosphates de fer et d'alumine. La chaux phosphatée naturelle n'est donc constituée que par des mélanges de phosphates de chaux, de fer et d'alumine, en proportions plus ou moins variables.

En 1859, M. Delanoue proposait à l'Académie des sciences de donner un nom particulier à ce nouveau minéral et de le nommer phosphate ferrico-calcique : « parce que, disait-« il, il est aussi distinct du vrai phosphate tricalcique ou « du phosphate ferrique simple, que la *dolomie* l'est du « calcaire ou de la *giobertite* ». Dans le même volume des Comptes-rendus, on trouve les réponses de MM. Meugy et de Molon, qui n'admettent pas l'existence de ce nouveau minéral ; l'opinion de ces derniers a prévalu.

M. de Bonnard a désigné dans l'arrondissement d'Avallon, sous le nom de nodules de chaux phosphatée terreux, un dépôt qui contient du phosphate calcique sans phosphate de fer. On trouve aussi des phosphates ne contenant point, ou seulement des traces de fer et d'alumine, et dans lesquels la totalité de l'acide phosphorique est combinée à la chaux, comme dans certains phosphates du Quercy et de Ciply Mais ce sont des faits très rares.

Il n'existe pas de division naturelle des phosphates : il est cependant assez facile de distinguer, d'après leur densité et leur aspect physique, à quels terrains ils appartiennent.

MM. Brylinski et Lionnet proposent une division basée sur la structure des différents phosphates : 1° en phosphates cristallins ; 2° en phosphates amorphes. Les premiers ne se trouvent pour ainsi dire que dans les terrains d'origine ignée ou dans leur voisinage immédiat. On peut ranger dans cette catégorie les phosphates de Norwège, du Canada, d'Estramadure, les apatites des filons granitiques, etc.

Les seconds comprennent les nodules du Gault, le samorod des grès verts de Russie, les pseudo-coprolithes de Cambridge, des Vosges, de l'Auxois, etc.

On pourrait encore distinguer la variété concrétionnée des phosphates du Quercy, de Nassau, etc.

Il n'existe pas de gisements exploitables dans les terrains primitifs proprement dits. Les gisements de Norwège doivent être classés dans la période *antésilurienne* (*taconique* de Lyell), et ceux du Canada rapportés au *laurentien inférieur*.

Avant de passer à l'étude des phosphates français, notons qu'il n'existe pas en France de gisements exploitables *d'apatite*. Elle a cependant été signalée dans différentes contrées : dans le granit, à Chanteloube près Limoges, et au mont Saint-Michel ; dans le micachiste, au Four-du-Diable, près de Nantes ; dans les filons stannifères de la Villeder (Morbihan), en cristaux isolés dans certains basaltes de l'Hérault, etc.

GISEMENTS FRANÇAIS DE PHOSPHATE DE CHAUX

La chaux phosphatée est actuellement reconnue dans plus de 50 départements. En 1868, il n'existait d'exploitations que dans les Ardennes, la Meuse et la Marne ; encore n'y avait-il, dans ce dernier département, que quelques chantiers aux environs de Sermaize. Aujourd'hui même, le nombre de départements où l'on extrait le phosphate est fort restreint, les exploitations étant concentrées dans les mêmes contrées. Du reste, dans un grand nombre de départements où la chaux phosphatée a été reconnue, les gisements sont trop peu importants ou d'une exploitation trop difficile pour qu'on puisse en faire l'objet d'une industrie fructueuse.

Voici la liste des départements où la chaux phosphatée a été reconnue :

Ain.
Aisne.
Alpes-Maritimes.
Ardèche.
Ardennes.
Ariègo.
Aube.
Aude.
Aveyron.
Basses-Alpes.
Basses-Pyrénées.
Bouches-du-Rhône.
Calvados.
Charente.
Charente-Inférioure.
Cher.
Côte-d'Or.
Corse.
Creuse.
Dordogne.
Doubs.
Drôme.
Eure.
Eure-et-Loire.
Gard.
Hautes-Alpes.
Haute-Garonne.
Haute-Marne.
Hautes-Pyrénées.
Haute-Saône.
Haute-Savoie.
Haute-Vienne.
Hérault.
Indre.
Indre-et-Loire.
Isère.
Jura.
Loire.
Loire-Inférieure.
Lot.
Lozère.
Maine-et-Loire.
Marne.
Meuse.
Meurthe-et-Moselle.
Morhihan.
Nièvre.
Nord.
Oise.
Orne.
Pas-de-Calais.
Sarthe.
Seine-Inférieure.
Tarn-et-Garonne.
Var.
Vaucluse.
Vienne.
Yonne.

Dans les terrains crétacés inférieurs, le phosphate n'a pour ainsi dire été trouvé que par exception. M. Leymerie y a signalé la présence de rognons de phosphate de fer hydraté. Mais lorsqu'on s'élève dans les terrains crétacés, les gisements deviennent plus nombreux et plus importants ; c'est dans le *Greensand* ou *grès vert* que l'on rencontre les couches les plus riches.

Dans les terrains crétacés supérieurs, il existe des gisements de phosphates non encore exploités ; ces gisements sont peu nombreux, il est vrai, et surtout peu riches, puisqu'ils ne donnent que de 20 à 35 0/0 de phosphate de chaux. Ils pourraient cependant être exploités, vu l'épaisseur de leur couche, qui varie de 60 centimètres à 1^{m},20. Mais ils se trouvent à une profondeur comprise entre 15 et 30 mètres. Citons la couche s'étendant à plusieurs lieues aux environs de Lille et qui a été décrite par M Delanoue en 1853 : elle est connue sous le nom de *tun*. On la trouve à Anappes, près de Lille, et à Lézennes, près de Valenciennes. On a encore rencontré ces phosphates dans la craie chloritée à Bouvines et au tunnel de Perthes, près Rethel.

Mais les gisements du terrain crétacé offrant la plus grande importance sont ceux du grès vert, ainsi que nous l'avons dit plus haut.

Ardennes et Meuse. — On connaît depuis longtemps dans les Ardennes la chaux phosphatée ; les habitants du pays la désignaient sous les noms de *Coquins*, *Crottes du diable*, noms dus à la forme bizarre des nodules. Mais ce n'est qu'en 1853 que l'attention fut attirée sur ces coquins, dont la composition était déjà connue. A cette époque, en effet, le congrès scientifique tenu à Arras signalait la découverte du phosphate de chaux dans le Pas-de-Calais

et le Nord, en faisant ressortir tout le parti qu'on pourrait en tirer pour l'agriculture.

En 1855, des exploitations régulières étaient entreprises par M. Desailly, et, en 1856, ce dernier établissait dans les environs de Grandpré une usine pour la pulvérisation du phosphate, la première que l'on vit fonctionner en France.

A la même époque, en 1856, M. Elie de Beaumont, condensant les résultats obtenus soit par ses propres recherches, soit par celles d'autres géologues, disignait divers points sur lesquels on pouvait tenter des exploitations, et faisait paraître son remarquable mémoire sur les gisements géologiques du phosphore.

Presque en même temps, MM. de Molon, Rousseau, Thurneisen, Nesbitt et Meugy, mettant à profit les recherches faites en France et en Angleterre, découvraient les importants gisements des grès verts, qui, du reste, avaient été entrevus par M. Elie de Beaumont : « Si l'on « admet, disait ce savant, que les nodules de phosphate « de chaux doivent continuer à accompagner, ailleurs « encore, les grains glauconieux, on sera fondé à les « rechercher en France dans une zone fort étendue, c'est-« à-dire dans la plus grande partie de la zone des terrains « crétacés inférieurs, coloriée en vert sur la carte géologi-« que de France. »

Ces prévisions étaient heureusement fondées ; M. de Molon et Thurneisen faisaient paraître, dans les Comptes-rendus de 1857, le résumé de leurs études. Dans 39 départements, ils avaient reconnu la chaux phosphatée dans des terrains appartenant pour la plupart à la zone des grès verts : « Nous pouvons dès à présent constater, ajou-« taient-ils, que nous avons découvert une source inépui-« sable de phosphate de chaux, qui représente pour la

« France, par les avantages qu'en retirera son agricul-
« ture, le capital de plusieurs milliards. »

La présence des nodules phosphatés a été reconnue dans tous les terrains du grès vert. Ces terrains constituent un vaste cordon partant des Ardennes et venant aboutir dans la Basse-Normandie, après avoir décrit autour du bassin Parisien un immense arc de cercle qui s'étend à travers la Meuse, l'Aube, l'Yonne, le Cher, le Loir-et-Cher, l'Indre, la Vienne, l'Indre-et-Loire, le Maine-et-Loire, la Sarthe et le Calvados.

Quelques lambeaux de sables verts se détachent de cet arc et se trouvent disséminés çà et là, comme au cap la Hève, près du Havre, à Cauville, à Saint-Jouin, etc. : partout on y a trouvé des phosphates.

La ligne d'affleurement des sables verts n'a pas moins de 400 kilomètres de longueur, avec des largeurs variant entre 1,000 et 10,000 mètres.

Indépendamment de cette vaste ligne d'affleurement, on retrouve encore les sables verts dans la Charente-Inférieure, les Basses-Pyrénées, les Hautes-Pyrénées, l'Aude, le Vaucluse, la Drôme, le Var, les Alpes-Maritimes, la Corse, etc., etc.

MM. Sauvage et Buvignier admettent trois divisions de la série crétacée qui nous occupe : les sables verts, l'argile du gault, la craie tufau ou gaize. Se basant sur les caractères paléontologiques identiques aux sables verts et à l'argile du gault, MM. Nivoit, Brylinski et Lionnet ne reconnaissent que deux groupes : 1° les sables verts et l'argile du gault ; 2° la gaize. MM. Sauvage et Buvignier avaient fait cette distinction, parce que l'étage des sables verts est sableux à la partie inférieure et argileux à la partie supérieure.

Les sables verts renferment du quartz blanc, une argile noire bitumineuse, pyriteuse et sulfatée, des traces de corindon dispersés çà et là, un ciment siliceux nommé vulgairement *cray* et, de plus, une matière particulière nommée *glauconie* et qui donne aux sables verts leur coloration caractéristique. La glauconie est formée, pour la majeure partie, de silicate de protoxyde de fer ; elle renferme, d'après M. Sauvage :

Silice............	52
Protoxyde de fer...	28
Alumine...........	7
Magnésie..........	8
Alcalis et pertes...	5
	100

Les grains glauconiens, d'après les travaux de M. Ehrenberg, sont les débris fossilisés de millions de *Foraminifères.*

On ne trouve pas seulement le phosphate de chaux dans les sables verts, mais aussi un minerai de fer : ce dernier n'est pas toujours en couches bien régulières, mais cependant, il s'y trouve parfois en assez grande quantité pour être l'objet d'une exploitation assez importante. Ce minerai de fer est composé, d'après MM. Sauvage et Buvignier, d'un mélange intime de silicate de protoxyde de fer (*glauconie*), d'argile et d'hydrate de peroxyde de fer ; il renferme en outre de 4 à 6 0/0 d'acide phosphorique.

Le phosphate de chaux, au contraire, se montre, dans les sables verts, toujours en couches très régulières. Il est le compagnon constant des sables verts, à tel point que là où affleurent ces derniers, on peut, sans craindre d'insuccès, ouvrir des exploitations de nodules.

Les argiles du gault sont verdâtres, quelquefois brunes

et presque noires. Elles sont plastiques et servent à la fabrication des tuiles et des faïences communes. On trouve soit des tuileries, soit des faïenceries à Varennes, à Boureuilles, aux Islettes, etc.

L'épaisseur totale de l'étage du grès vert dans les Ardennes et la Meuse varie de 25 à 40 mètres. La superficie occupée par les affleurements des sables verts est de 53,000 hectares pour ces deux départements et contient, d'après M. Nivoit, 71,550,000 tonnes de phosphate.

Mais les nodules de phosphate de chaux ne se trouvent pas seulement dans les sables verts. M. Desailly, de Grandpré, a découvert un gisement dans la roche connue sous le nom de *Gaize*. Les nodules de la gaize sont beaucoup plus riches en phosphate que ceux des grès verts, mais leur extraction est plus coûteuse et plus difficile, car ils sont enfouis sous une forte épaisseur de terre.

La gaise est une roche tendre, argileuse, siliceuse, qui se délite à l'air. D'après M. Nivoit, elle forme dans les trois départements de la Marne, des Ardennes et de la Meuse, un vaste massif montagneux, couvert presque entièrement de forêts (*massifs de l'Argonne*). Au point de vue géologique, c'est un dépôt lenticulaire, intercalé entre l'argile du gault et les marnes crayeuses ; sa puissance maxima est de 105 mètres (environs d'Autry, près la limite commune aux trois départements) ; il se termine en biseau, au nord, près d'Attigny (Ardennes), au sud, vers Nettaucourt et Vroïl (Marne).

La gaize occupe une superficie de 14,200 hectares, dont une partie s'étend du nord au sud de la Meuse, sur la rive gauche de l'Aire, sans solution de continuité. Dans les autres départements, on ne la trouve guère qu'en lambeaux isolés.

L'analyse de la gaize indique que cette roche a une com-

position assez variable. Elle contient, d'après M. Sauvage :

Eau	8
Sable quartzeux	17
Silice gélatineuse	56
Argile	7
Glauconie	12
	100

Cependant, la proportion de silice gélatineuse (soluble dans les alcalis) descend parfois à 8 0/0. Sa densité varie de 1,48 à 2,70, d'après les localités.

Lorsque la roche encaissante est solide, comme la craie blanche, la craie chloritée, la craie marneuse, le phosphate s'y présente en nodules disséminés et empâtés dans la masse. Mais lorsque la roche encaissante est meuble, comme les sables verts, la chaux phosphatée s'y trouve en nodules indépendants et forme des lits réguliers dont l'épaisseur varie de 10 à 30 centimètres, rarement plus, mais ne dépassant jamais 50 centimètres.

Dans les Ardennes, les sables verts bordent les rives de l'Aire. On les trouve, sur la rive droite : dans les communes d'Exermont, Fléville, Cernay, Sommerance, Saint-Juvin, Landres, etc. ; sur la rive gauche : dans les communes d'Apremont, Châtel-Chéhéry, Chevières, Grandpré, etc. Dans tous ces pays existent de nombreuses exploitations. Dans le canton de Grandpré, on rencontre plus particulièrement l'argile du gault : à Marcq, elle atteint une épaisseur de 18 mètres ; dans la vallée des Quatre-Champs, elle alimente la fabrication de plusieurs tuileries. Les argiles du gault vont toujours en diminuant graduellement d'épaisseur jusqu'à Saulces-Monclin, à l'ouest du département des Ardennes.

On trouve quelquefois les sables verts en lambeaux isolés, comme dans les communes de Sivry, Fossé, Rémonville, Andevarme, Barricourt. Enfin, dans les environs de Vouziers, à Ternon et à Voncq, on trouve la couche des grès verts réduite à une faible épaisseur.

A part les exploitations que nous avons déjà citées, ajoutons celles qu'on trouve à Vouziers, Rethel, Chesne-Populeux, Senuc, Rilly, Rémonville, Wasigny, Machéroménil, Sorcy-Bauthémont, Saulces-Monclin, etc.

Dans l'arrondissement de Vouziers qui, du reste, est le plus important au point de vue qui nous occupe, les affleurements des sables verts présentent une superficie de 9,443 hectares; « et en admettant, dit M. Nivoit, un rende-« ment minimum de quatre mètres cubes par are, on voit « que cet arrondissement contient au moins 3,800,000 mè-« tres cubes de nodules, et, en y mettant l'activité actuelle, « l'exploitation pourrait durer deux cents ans ».

Les nodules du grès vert sont d'une couleur grisâtre, mais le plus souvent noirâtre; ils sont quelquefois reliés ensemble par des grains agglomérés de la roche encaissante et peuvent constituer de véritables masses, comme on en trouve souvent dans les environs de Saulces. Mais, le plus généralement, ils sont isolés et leur grosseur varie de celle d'une noix à celle du poing.

Les couches offrent une continuité très régulière, mais leur épaisseur est assez variable : généralement elles n'ont que de 15 à 25 centimètres. Ordinairement, la couche est unique ; cependant, à Andernay, on trouve deux couches superposées et séparées entre elles par une bande étroite de sables verts Le poids du mètre cube de nodules varie entre 1,150 kilos (Saint-Loup-Terrier) et 1,500 kilos (Grandpré).

L'extraction a lieu presque toujours à ciel ouvert. Dans quelques localités cependant, on extrait en galeries ; mais ce sont des exceptions. La profondeur moyenne est de 3 à 5 mètres.

Après leur extraction, les nodules sont criblés, pour séparer la plus grande partie de la terre qui les enveloppe, puis on achève de les nettoyer en les soumettant à un lavage. Le lavoir se compose d'une caisse d'environ deux mètres de longueur, sur un mètre de largeur et un mètre de profondeur, établie sur un cours d'eau. Aux deux tiers de la profondeur de cette caisse, se trouve une grille sur laquelle on place les nodules ; on fait arriver l'eau, et, au moyen d'une vanne, on peut la retenir pendant que l'ouvrier agite les nodules à l'aide de crocs. Quand l'eau est devenue épaisse, on la laisse écouler et on recommence l'opération jusqu'à ce que le liquide s'écoule aussi clair qu'il est entré. Deux ouvriers peuvent produire par jour un mètre cube de nodules lavés. Dans les environs de Saulces-Monclin, on ne trouve pas de cours d'eau et par conséquent il n'existe pas de lavoirs. On a cependant pu en établir un à Sévricourt, mais qui chôme une grande partie de l'année, faute d'eau. On se contente alors de cribler les nodules, ce qui explique pourquoi ceux-ci sont moins riches que ceux des environs de Grandpré.

On laisse sécher à l'air les nodules lavés, puis on les pulvérise le plus finement possible entre des meules horizontales, établies comme celles des moulins à farine. Dans les Ardennes, on trouve un assez grand nombre d'usines, dont les principales sont à Senuc, Vouziers, Neuville, Sorcy-Bauthémont.

Les nodules de gaize, nous l'avons dit, sont peu exploités. Ils sont plus riches que ceux des sables verts ; leur grosseur est à peu près la même, mais on les reconnaît fa-

cilement à ce qu'ils sont plus lisses, plus noirs et plus lourds : le même cube pèse de 1,625 à 1,700 kilos ; l'épaisseur de la couche varie entre 8 et 30 centimètres, mais le plus généralement elle est de 15 centimètres, et on ne la trouve qu'à une grande profondeur. Les principaux lieux d'extraction sont Grandpré, Marcq, Apremont.

Dans le canton de Monthois, on trouve, au-dessus de la gaize, une couche de sables verts argileux, à laquelle on a donné le nom de *sables verts supérieurs :* on y trouve des nodules de phosphate très noirs et qui se délitent facilement à l'air ; ils sont plus ferrugineux que ceux des sables verts inférieurs et de la gaize, mais ils ne paraissent pas être en assez grande quantité, ni en couches assez régulières, pour être l'objet d'une exploitation avantageuse.

Près de Monthois, on voit le passage entre les sables verts supérieurs à la gaize et la marne crayeuse. Cette dernière forme une zone assez large et presque continue, qui traverse du sud-est au nord-ouest les cantons de Monthois, Vouziers et Attigny. On la trouve encore, mais en îlots isolés, dans les communes de Brières, Senuc, Mouron, Olizy, les Alleux, Alland'huy et Ecordal. Elle renferme des nodules empâtés dans la masse, mais qui ne peuvent s'isoler économiquement. Cependant, lorsque la roche forme la surface du sol, elle se trouve désagrégée et réduite à l'état de sable, par suite d'une longue exposition à l'action des agents atmosphériques. Dans ces conditions, les nodules rendus libres s'accumulent à la suface du sol et sont ramassés facilement. C'est ainsi qu'on les trouve dans certaines communes des cantons de Novion-Porcien, Attigny, Vouziers, Grandpré, Monthois (Ardennes), Varennes, Clermont-en-Argonne, Triaucourt, Vaubécourt (Meuse), Vienne-le-Château et Sermaize (Marne).

Plus bas, on trouvera quelques analyses (1) des principaux gisements des Ardennes. Dans cette contrée, la richesse est à peu près égale dans tous les nodules de même espèce, pourvu toutefois que le lavage ait été également bien pratiqué. Comme nous l'avons déjà vu, les phosphates des environs de Saulces sont à peine nettoyés ; aussi, nous offrent-ils une teneur moindre en acide phosphorique et une proportion plus élevée en matières insolubles.

Voici un tableau qui indique la composition de ces divers phosphates.

(1) J'ai fait les analyses, consignées dans ce travail, sur des échantillons d'origine certaine.

	CHESNOIS-AUBONCOURT.	GRANDPRÉ.	
		(Gaize)	(Grès vert)
Eau à 100°	2.15	1.15	2.20
Matières volatiles au rouge sombre.	3.75	4.90	4.55
Acide phosphorique	16.69	23.46	19.57
— sulfurique	0.79	0.89	0.85
— carbonique	4.70	5.65	5.80
Fluor	1.75	1.62	1.66
Chaux	26.88	40.48	31.81
Magnésie	Traces	0.50	0.36
Alumine	2.47	2.15	3.36
Oxyde de fer	3.77	2.87	4.89
Silice	37.16	15.40	24.80
Total	100.11	99.07	99.85
A déduire l'oxygène équiv. au fluor.	0.73	0.68	0.69
	99.38	98.39	99.16
Matières non dosées et pertes	0.62	1.61	0.84
	100.00	100.00	100.00
Equivalent de l'acide phosphorique en phosphate de chaux	36.43	51.22	42.73
Equivalent de l'acide carbonique en carbonate de chaux	10.68	12.84	13.18
Equivalent du fluor en fluorure de calcium	3.59	3.36	3.40

Les nodules des sables verts et de la gaize contiennent tous, sans exception, une notable proportion de matière

organique azotée ; la teneur en azote s'élève à un millième environ, et une partie de cet azote se trouve à l'état de combinaison ammoniacale. La présence singulière de l'azote ammoniacal dans ces produits, a été vérifiée par nous de la manière suivante : 500 grammes de poudre de nodules des sables verts ont été attaqués par l'acide chlorhydrique pur ; le liquide filtré a été traité par un lait de chaux jusqu'à alcalinité, filtré de nouveau et distillé en présence de la magnésie calcinée : le produit de la distillation était alcalin au tournesol et précipitait abondamment par le réactif de Nessler.

Dans la Meuse, l'étage des sables verts ne s'étend que dans la région occidentale du département ; l'épaisseur de l'étage est de 25 à 40 mètres : c'est dans les environs de Varennes qu'elle atteint son minimum et dans les environs de Révigny son maximum. Mais, comme l'inclinaison des couches est faible, de vastes espaces sont couverts par leurs affleurements ; la superficie de ceux-ci est de 36,800 hectares, soit 17 0/0 de la superficie du département de la Meuse.

Comme dans les Ardennes, les nodules se présentent sous l'aspect de rognons arrondis, lisses ou mamelonnés, plus noirs au centre qu'à la périphérie. Quelquefois, ils forment une sorte de conglomérat : à Vaubécourt, dans la partie centrale du gisement, le phosphate constitue une masse continue qu'il faut détacher à la pioche. De même que dans les Ardennes, on trouve souvent, accompagnant les nodules, des coquillages bien conservés, des fruits de conifères, des dents de squale, des crustacés, des fragments d'os de poissons ou de sauriens.

En 1862, la Meuse a livré à l'agriculture 15,000 tonnes de phosphate ; en 1877, la production a atteint 41,000 tonnes. Les deux départements, Meuse et Ardennes, ont produit, en 1877, 70,000 tonnes.

On trouve toujours le phosphate placé au-dessus du dépôt de minerai de fer, quand celui-ci existe; ils sont souvent séparés par le *cray*.

L'épaisseur de la couche varie entre 5 et 25 centimètres. Le mètre cube pèse de 12 à 1500 kilogrammes. Le phosphate des Islettes pèse assez régulièrement 1,500 kilos; celui des environs de Dombasles, Béthelainville, Montzéville, pèse de 12 à 1,400 kilos.

Le ban des Argonnelles, près Lahaycourt, contient vers son milieu, ainsi qu'à sa partie supérieure, un petit lit continu de gypse; aussi ce phosphate renferme-t-il une proportion d'acide sulfurique s'élevant jusqu'à 2,50 0/0. A Louppy-le-Château, on trouve également, associés au phosphate, deux minces filons de gypse.

Les nodules du gault proprement dit ne forment pas de couches exploitables : ils sont plus compactes et plus homogènes que les précédents et parfois recouverts à leur surface d'un léger dépôt de pyrite.

Dans la Meuse, on trouve les nodules du grès vert dans plus de cent communes faisant partie des cantons suivants:

Dun, Montfaucon, Varennes, Charny, Clermont-en-Argonne, Souilly, Triaucourt, Vaubécourt. Vavincourt, Revigny, Bar-le-Duc, Ancerville.

La gaize occupe dans la Meuse une superficie de 14.200 hectares; elle traverse, sans solution de continuité, les territoires des communes de Montblainville, Varennes, Boureuilles, Neuvilly, Aubréville, Clermont-en-Argonne, les Islettes, Le Neufour, La Chalade, Futeau, Auzéville, Rarécourt, Froidos, Waly, Beaulieu-en-Argonne, Lahaycourt, Sommeille et Nettancourt.

On trouve dans la gaize une couche de nodules exploitable et paraissant assez régulière. Ces nodules présentent le même aspect et les mêmes propriétés que ceux de la

gaize des Ardennes. Le lavage et la pulvérisation se pratiquent comme dans ce dernier département.

Les trois analyses suivantes ont été faites sur des échantillons représentant les rayons de Dombasles, les Islettes et Rarécourt.

	DOMBASLES.	LES ISLETTES.	RARÉCOURT.
Eau à 100°	1.75	1.90	1.85
Matières volatiles au rouge sombre	4.80	5.05	4.70
Acide phosphorique	18.23	18.74	17.58
— sulfurique	0.79	1.20	0.85
— carbonique	4.50	4.80	4.20
Fluor	1.31	1.48	1.25
Chaux	27.66	29.23	27.04
Magnésie	traces.	0.39	traces.
Alumine	2.30	2.57	2.47
Oxyde de fer	5.85	5.46	4.95
Silice	32 06	28.74	35.18
Total	99.25	09.56	100.07
A déduire l'oxygène équivalent au fluor	0.55	0.62	0.52
	98.70	98.94	99.55
Matières non dosées et pertes	1.30	1.06	0 45
	100.00	100 00	100.00
Équivalent de l'acide phosphorique en phosphate de chaux	39.79	40.90	38.37
Équivalent de l'acide carbonique en carbonate de chaux	10.22	10.90	9 51
Équivalent du fluor en fluorure de calcium	2.70	3.05	2.56

Nous avons dit déjà que l'on avait donné aux nodules le nom de *coprolithes*, parce que l'on croyait qu'ils n'étaient autre chose que des excréments pétrifiés ; mais ces matières n'ont nullement l'origine que leur assigne ce nom. On ne peut répondre d'une manière positive à la question de l'origine des dépôts de phosphate dans des terrains ne renfermant pas de phosphate de chaux ; mais on admet généralement que des eaux chargées de cette matière ont pénétré certaines couches de terrains : l'eau s'évaporant, le phosphate de chaux s'est déposé en englobant les portions de terrains et en prenant des formes diverses : et en effet, on retrouve dans ces nodules du sable vert, de l'argile et des fossiles de l'étage auquel ils correspondent. Ils n'auraient donc pas été roulés et amenés par les eaux, comme pourrait le faire croire leur forme arrondie. Quant au phosphate, qui a servi de matière agglutinante, il aurait été emprunté à de vastes dépôts de débris animaux, selon les uns ; il serait de nature essentiellement minérale, selon les autres.

MM. Brylinski et Lionnet croient que l'origine de l'acide phosphorique dans les terrains du grès vert est avant tout organique. Ces savants s'appuient sur la présence constante de matières organiques dans ces phosphates et l'absence de ces mêmes matières dans ceux d'origine minérale, telles que les apatites de Norwège, de Saxe, etc.

Marne. — Dans la Marne, on exploite des phosphates des grès verts dans les environs d'Arget.

Yonne. — Dans l'Yonne, il se fait quelques extractions de ce même phosphate aux environs de Bléneau. Dans ce département, on trouve deux variétés de phosphate : celui du *grès vert*, dans le voisinage de Bléneau, et celui du *lias*, dans les contrées avoisinant la Côte-d'Or.

Voici l'analyse du phosphate des grès verts de ces deux départements.

	MARNE (Arget).	YONNE (Bléneau). 1	YONNE (Bléneau). 2
Eau à 100°	1.80	1.55	1.35
Matières volatiles au rouge sombre	4.80	0.95	1.10
Acide phosphorique	14.39	17.52	15.15
— sulfurique	0.79	traces.	traces.
— carbonique	4.35	0.99	0.88
Fluor	1.10	2.09	2.48
Chaux	23.80	23.23	20.39
Magnésie	0.07	traces.	traces.
Alumine	2.65	0.70	0.23
Oxyde de fer	5.05	1.51	3.21
Silice	40.90	51.70	55.80
Total	99.70	100.24	100.58
A déduire l'oxygène équivalent au fluor.	0.46	0.88	1.04
	99.24	99.36	99.54
Matières non dosées et pertes	0.76	0.64	0.46
	100.00	100.00	100.00
Équivalent de l'acide phosphorique en phosphate de chaux	31.41	38.24	33.07
Équivalent de l'acide carbonique en carbonate de chaux	9.88	2.25	2.02
Équivalent du fluor en fluorure de calcium	2.25	4.30	5.10

Pas-de-Calais. — Les grès verts du Pas-de-Calais sont la continuation des grès verts du terrain crétacé de la région

sud-est de l'Angleterre. Les terrains de Wissant offrent la même coupe géologique que ceux de Folkestone, dont la distance, de l'autre côté du détroit, est de 38 kilomètres.

Le phosphate que l'on rencontre dans cette contrée se trouve vers la jonction du grès vert inférieur avec l'argile du gault. Il se présente soit sous forme de nodules, soit en masses irrégulières. Il est souvent mélangé de pyrite, et quelquefois cette substance est assez abondante pour traverser les nodules de part en part et y former des veines.

L'extraction et le lavage se font comme dans les Ardennes; mais, dans le Pas-de-Calais, il n'y a pas d'usines pour la pulvérisation du phosphate : celui-ci est expédié en nodules et la majeure partie est destinée à l'Angleterre.

A Wissant, on exploite dans la mer pendant la marée basse.

Les principaux lieux d'extraction sont : Surques, Boursin, Wissant, Fiennes, Caffiers, Samer, Hardinghen, Réty, Henneveux, etc.

Les analyses suivantes ont été faites sur un échantillon moyen, pris dans les différents gisements des localités désignées :

LOCALITÉS.	ACIDE PHOSPHORIQUE.		ÉQUIVALENT en phosphate de chaux.
Boursin	21.74	=	47.46
Caffiers	22.26	=	48.58
Henneveux	21.61	=	47.17
Lottinghen	21.29	=	46.48
Réty	22.38	=	48.87
Wissant	20.14	=	43.97
Hardinghen	18.29	=	39.94
Longfossé	19.05	=	41.60
Brunembert	18.41	=	40.22
Samer	18.35	=	40.08

	SURQUES.	NABRINGHEN.	FIENNES.
Eau à 100°....................	1.85	1.40	1.40
Matières volatiles au rouge sombre.	4.85	5.60	5.30
Acide phosphorique............	17 01	23.52	20.72
— sulfurique................	0.89	1.06	0.89
— carbonique,..............	3 75	4.30	4.20
Fluor.........................	1.83	1.90	1.83
Chaux.........................	26.15	34.77	33.71
Magnésie	traces.	0.04	traces.
Alumine.......................	2.62	3.53	3.25
Oxyde de fer..................	3.10	3.19	3.15
Silice........................	37.12	20.60	25.20
Total.........................	99.17	99.91	99.65
A déduire l'oxygène équiv. au fluor.	0.77	0 80	0.77
	98.40	99.11	98.88
Matières non dosées et pertes.....	1.60	0.89	1.12
	100.00	100.00	100.00
Equivalent de l'acide phosphorique en phosphate de chaux	37.13	51.36	45.23
Equivalent de l'acide carbonique en carbonate de chaux.........	8.52	9.77	9 54
Equivalent du fluor en fluorure de calcium.	3.76	3.90	3 76

Ain (Bellegarde). — A Bellegarde, au lieu dit *Perte-du-Rhône*, il existe un gisement de phosphate s'étendant sur environ 100 hectares. Ce gisement, déjà connu par la description qu'en fit Brongniart en 1822, fut étudié par

MM. Poncin, Demole (1870), Grüner frères (1871), Rénevier (1872), Risler (1872).

Il appartient aux grès verts. Le phosphate ne s'y présente ni à l'état de nodules, comme dans les Ardennes, ni en banc compacte, comme l'a trouvé M. Poncin à Seyssel (Haute-Savoie) et à Lains, dans la partie méridionale du Jura. Le phosphate se rencontre à Bellegarde exclusivement à l'état de moules de fossiles, assez bien conservés et appartenant aux espèces du gault et surtout de la gaize. Ce gisement est composé de trois bancs qui ont une épaisseur totale de 1 m. 80. Une Compagnie anglo-allemande a momentanément mis en exploitation : 1° la couche supérieure de grès jaunâtre, à moules de fossiles roses, épaisse d'environ 0 m. 80 centimètres ; 2° celle du sable bleu-verdâtre, épaisse de 0 m. 60 centimètres, qui se trouve immédiatement au-dessous de la première et dont les moules de fossiles sont bruns ou verts. Ceux-ci titrent au moins 50 0/0 de phosphate. La gangue est du sable siliceux verdâtre. Le titre des fossiles roses de la première couche est inférieur à 40 0/0 ; le reste de la couche est du sable argileux jaunâtre. Les fossiles phosphatés entrent à peu près pour moitié dans la masse de ces deux couches. Le mètre cube de fossiles du banc moyen pèse environ 1500 kilogrammes.

Quant à la troisième couche phosphatifère de Bellegarde, celle inférieure, de sable verdâtre, à fossiles phosphatés blancs, friables, épaisse de 0 m. 40 centimètres, elle est séparée des deux autres couches déjà décrites par deux mètres de sable verdâtre, sans fossile. Il est peu probable qu'on l'exploite jamais, soit à cause de la nature trop friable des fossiles, soit à cause du peu de solidité des sables verdâtres qui en forment le toit.

La Société anglo-allemande, qui, en 1871, avait tenté

d'exploiter les phosphates de Bellegarde, se proposait d'utiliser en même temps la force motrice fournie par la chute du fleuve ; mais cette entreprise, due à l'initiative de deux Américains, MM. Lomer et Ellershausen, n'a pas donné les résultats que l'on était en droit d'espérer. La solidité du grès et son adhérence aux fossiles ont, malgré l'épaisseur des couches, rendu l'exploitation peu fructueuse.

La différence du niveau du Rhône, avant sa perte et l'endroit où il reparaît, est de 11 à 13 mètres, représentant, d'après le rapport de certains ingénieurs, une force motrice de dix mille chevaux. Une nouvelle Société est en voie de formation, dans le but d'utiliser cette force motrice et d'exploiter le phosphate de Bellegarde. Actuellement, il existe trois turbines produisant une force de 1.800 chevaux.

Le phosphate de Bellegarde présente un mode de formation différent de celui des Ardennes et des autres nodules des grès verts. C'est dans la partie interne du moule qu'a lieu la concentration du phosphate, et la richesse en acide phosphorique est en raison directe de la ténuité des ouvertures par lesquelles s'est introduite la matière phosphatée en dissolution : lorsque l'orifice est petit, comme dans les oursins, la masse est compacte, dense, homogène et très riche en phosphate. Lorsque l'ouverture, au contraire, est plus grande, la roche encaissante a pu pénétrer à l'intérieur des moules, et l'on ne trouve qu'une masse contenant des grains glauconieux et quartzeux. La roche encaissante dose de 4 à 5 0/0 de phosphate.

Haute-Savoie. — M. Pencin, qui a découvert de nombreux gisements dans le bassin du Rhône, a bien voulu

nous communiquer, par une note particulière, les détails suivants sur les couches phosphatées de la Haute-Savoie. Nous sommes aussi redevable à M. Poncin de renseignements très précis sur les gisements de Bellegarde, du Jura, de la Drôme, du Gard, de l'Ardèche, du Vaucluse, de la Nièvre, du Cher et de la Côte-d'Or.

Le phosphate de Seyssel, à l'état de banc compacte, affleure au hameau de Vens, au bord de la route de Seyssel à Rumilly, vers l'entrée des gorges du Fier. Il est vertical et encaissé entre deux couches de sables verts qui ont été elles-mêmes redressées avec la montagne néocomienne, dont la route de Rumilly coupe successivement toutes les assises. Dans cette région, l'épaisseur totale des sables verts atteint à peine 10 mètres. L'argile du gault y manque presque complètement, comme à Bellegarde. L'épaisseur du banc de phosphate varie de 0 m. 30 à 0 m. 75. On le suit facilement depuis le niveau du Fier jusqu'à près de 100 mètres de hauteur, tant dans la direction du nord que dans celle du midi.

La roche phosphatée diffère complètement d'aspect avec les diverses phosphorites des grès verts. C'est une espèce de *lumachelle tendre*, d'un blanc mat tirant un peu sur le gris et veiné de vert, par suite de l'interposition, par places, d'une petite quantité de sable glauconieux du toit et du mur du banc phosphaté. Ce gisement est peu exploité.

Quoique les fossiles, qui composent exclusivement la pâte de cette roche, soient la plupart broyés et méconnaissables, on peut encore y distinguer de nombreux moules de fossiles du gault et des grès verts.

La teneur moyenne de la phosphorite de Seyssel est de 45 à 47 0/0 de phosphate de chaux tribasique, intimement mêlé de sable siliceux très fin ; elle contient peu de carbo-

nate de chaux et n'a que des traces de fer soluble dans les acides ; mais elle laisse dégager de remarquables quantités de vapeurs d'iode, lorsqu'on la traite par l'acide sulfurique pour la transformer en superphosphate.

Jura. — Dans ce département, on ne trouve qu'un gisement exploitable, mais non encore exploité : c'est le gisement de Lains ; il est assez rapproché de la gare de Simandres, sur le chemin de fer de Bourg à Nantua. La phosphorite de Lains présente une grande similitude avec celle de Seyssel. A Lains, comme à Seyssel, le phosphate forme un banc compacte d'une espèce de lumachelle blanchâtre et tendre, dans laquelle on distingue facilement les moules plus ou moins frustes de la plupart des fossiles bien connus du gault et des grès verts. La couche de phosphorite de Lains y est en effet subordonnée à des sables verts, épais d'une dizaine de mètres à peine et surmontés par de la craie marneuse blanche. L'argile bleuâtre du gault y fait presque complètement défaut, comme à Bellegarde et à Seyssel.

La phosphorite de Lains n'a besoin d'aucun lavage préalable pour être soumise à la mouture et être livrée au commerce. Le banc exploitable, au lieu d'être redressé verticalement comme celui de Seyssel, incline seulement un peu vers l'est. Son épaisseur moyenne est d'environ $0^{m}50$, et la teneur en phosphate réel est de 46 à 48 0/0. Le phosphate de Lains pourra être exploité en partie à ciel ouvert, et en partie en galeries souterraines, sur une longueur d'environ 2 kilomètres et sur une largeur de 600 à 800 mètres.

M. Poncin, qui a découvert le gisement de Lains, a aussi examiné quelques lambeaux de grès verts qui existent dans le département du Jura ; mais, dans aucun d'eux, il n'a trouvé une couche de phosphate exploitable.

Drôme. — C'est dans la Drôme qu'existent les plus riches gisements phosphatés du bassin du Rhône; ils se trouvent à Clansayes et à Saint-Paul-trois-Châteaux. C'est M. Poncin qui les découvrit en 1862; avant cette époque, M. Lory, professeur à la Faculté des sciences de Grenoble, avait signalé la présence du phosphate dans les beaux moules de fossiles du monticule de Gaspardou. De son côté, l'ingénieur Scipion Gras, dans sa *Géologie du département de la Drôme*, avait fait mention de cette accumulation de fossiles, mais il les croyait exclusivement siliceux. M. Lory reconnut, au contraire, qu'ils étaient très riches en phosphate et qu'ils appartenaient à l'étage du gault. Aujourd'hui, ce prodigieux amas de beaux fossiles de Gaspardou n'existe plus : il a été exploité sur une épaisseur de 15 à 20 mètres, et il ne peut plus être étudié que dans les collections.

La principale couche de phosphate qu'on exploite aujourd'hui à Clansayes et à Saint-Paul-trois-Châteaux est épaisse de plus de quatre mètres et composée moitié de petits grains de phosphate de chaux de la grosseur d'un haricot ou de celle d'un grain de blé, moitié d'un sable argileux à gros grains de quartz ; on y trouve des débris de fossiles assez volumineux.

Les grains de phosphate, ainsi que les débris de fossiles, sont de couleur brun-rougeâtre et très durs ; pris isolément, ils titrent environ 62 0/0 de phosphate réel; mais, dans la pratique courante industrielle, on laisse, mêlée à ces grains de phosphate, une certaine quantité de grains de quartz de même grosseur, lesquels, après la mouture, abaissent le titre de la matière marchande à 50 et même 45 0/0.

La phosphate de Clansayes et de Saint-Paul-trois-Châteaux peut se livrer à des prix excessivement bas, grâce à

l'épaisseur exceptionnelle de la couche exploitée, qui donne plus de 2,000 kilogs de petits nodules par mètre carré.

On exploite aussi à Clansayes deux autres couches d'assez gros moules de fossiles phosphatés, qui, toutes deux, fournissent couramment du phosphate marchand titrant de 25 à 55 0[0 de phosphate réel. Les fossiles de l'une de ces couches (Rozet) sont de couleur brun-rougeâtre ; ceux de l'autre couche sont blancs et appartiennent d'une manière exclusive au grès vert inférieur. L'épaisseur de chacune de ces couches varie de 30 à 35 centimètres.

Le gisement d'Espeluche, à 8 kilomètres de Montélimart, ne mérite qu'une simple mention. Il appartient au grès vert supérieur ; ses nodules, couleur chocolat, ne titrent que 34 à 35 0[0 ; la gangue n'est composée que de carbonate de chaux et de gros grains de sable quartzeux.

Ci-après, deux analyses : la première est celle du phosphate en menus grains exploité au mas de Chanabasset, à la limite des communes de Clansayes et de Saint-Paul-trois Châteaux ; la seconde est celle des gros nodules provenant de l'amas de Gaspardou, commune de Clansayes.

	CLANSAYES et SAINT-PAUL-3-CHATEAUX.	GASPARDOU.
Eau à 100°	0.80	0.60
Matières volatiles au rouge sombre	1.15	1.20
Acide phosphorique	22.76	28.65
— sulfurique	0.41	0.51
— carbonique	2.50	3.00
Fluor	0.84	2.37
Chaux	30.63	38.75
Magnésie	0.18	traces.
Alumine	1.57	1.34
Oxyde de fer	3.74	3.49
Silice	35.06	20.82
Total	99.64	100.73
A déduire l'oxygène équivalent au fluor.	0.35	0.99
	99.29	99.74
Matières non dosées et pertes	0.71	0.26
	100 00	100.00
Equivalent de l'acide phosphorique en phosphate de chaux	49.69	62.54
Equivalent de l'acide carbonique en carbonate de chaux	5.68	6.81
Equivalent de fluor en fluorure de calcium	1.74	4.86

Gard. — On trouve, dans le Gard, des gisements dont le phosphate est absolument semblable à celui du Quercy; mais ces gisements, situés dans les communes de Tavel et

Lirac, sont, malgré leur teneur élevée, trop restreints et de trop médiocre importance, pour donner lieu à une exploitation sérieuse. Toutefois, il existe dans le Gard des phosphates qui appartiennent, comme ceux de Clansayes et de Saint-Paul-trois-Châteaux, aux étages moyen et supérieur des grès verts. Ils ont été découverts par M. Poncin, et leurs gisements sont situés près de Pont-Saint-Esprit, à Saint-Alexandre, Corsan, Salazac, Saint-Julien-de-Peyrolas et autres communes de l'arrondissement d'Uzès. Ils sont exploités assez activement, et s'étendent sur une surface de plus de 300 hectares. Ils contiennent peu de carbonate de chaux ; leur richesse en phosphate réel dépasse couramment 50 0/0. Les nodules sont généralement plus gros que ceux de la Drôme, et l'épaisseur de la couche est de beaucoup moins forte que dans ce dernier département ; elle est souvent réduite à 0m,30 et même à 0m,25. Ces gisements n'en sont pas moins faciles à exploiter, parce que la plus grande partie du phosphate peut être extraite à ciel ouvert.

Ardèche. — Il n'y a pas d'exploitations dans ce département : les gisements, du reste, ont très peu d'importance. M. Poncin a trouvé des lambeaux de gisement à l'ouest de Viviers, au hameau de Baynes, et dans le ravin de l'Escoutayes : l'une de ces couches, de 2m,50 à 3 mètres de puissance, ne fournit que du phosphate titrant de 12 à 15 0/0 ; l'autre donne un phosphate exempt de carbonate de chaux, titrant 50 0/0, et très semblable d'aspect à celui de Clansayes (Drôme) ; mais ce gisement, trop restreint, est sans avenir. Le phosphate de l'Ardèche appartient aux grès verts supérieurs.

Vaucluse. — Les gisements de ce département se trouvent à Rustrel et à Villars, près d'Apt.

Les gisements de Rustrel appartiennent à deux formations géologiques bien distinctes, et ils fournissent deux qualités de phosphates très différentes. Le gisement inférieur, celui dit de Notre-Dame-des-Anges, et celui près du village de Rustrel, appartiennent aux grès verts, auxquels ils sont subordonnés, et dont ils contiennent les moules de fossiles mêlés à de très petits nodules, les uns verts, les autres rosés. La couche de ces petits nodules, mélangés avec une quantité égale de sable vert et constituant une espèce de grès très tendre, atteint trois mètres d'épaisseur. Ce phosphate contient peu de carbonate de chaux, et titre de 45 à 50 0/0 de phosphate réel ; une faible partie est exploitable à ciel ouvert.

Le gisement supérieur de Rustrel, Villars, etc., appartient, selon M. Poncin, au terrain *sidérolithique*. Il se compose de petits galets, ou plutôt de plaquettes, épaisses de 1 à 4 centimètres, souvent larges et longues de plus de 10 centimètres, d'un phosphate blanc, dur, contenant peu de fer et de carbonate de chaux ; la gangue est presque entièrement constituee par un sable siliceux très blanc et très fin. Le titre de cette espèce de phosphate est souvent très élevé ; mais cette richesse est malheureusement peu constante, puisque certains galets titrent 75 0/0 de phosphate réel et que d'autres ne titrent que 50. La teneur moyenne dépasse cependant 60 0/0.

Ces plaquettes de phosphate, complètement dépourvues de fossiles, comme les sables qui les accompagnent, affectent généralement une position horizontale ; de nombreuses coupes naturelles du terrain les montrent alignées, comme des notes de musique, dans les sables sidérolithiques, sur une épaisseur variable qui atteint souvent 10 mètres. M. Poncin suppose que ces phosphates se sont formés aux dépens de ceux des grès verts : des émissions d'eau acide, chargée de phosphate enlevé à la couche des grès verts,

seraient venues déposer, dans les sables ***sidérolithiques*** **superposés, le phosphate de chaux sous forme de plaquettes.**

Voici l'analyse des gisements du Vaucluse :

	NOTRE-DAME DES ANGES.	ENVIRONS D'APT. 1	ENVIRONS D'APT. 2
Eau à 100°	1.60	1.90	0.80
Matières volatiles au rouge sombre	3.80	2.40	2.60
Acide phosphoriquo	21.40	28.01	31.66
— sulfurique	0.47	0.08	0.47
— carbonique	1.05	1.30	1.60
Fluor	1 34	1.55	1.75
Chaux	27.79	37.35	40.99
Magnésio	traces.	0.07	0.14
Alumine	2.87	0.85	1.15
Oxyde de fer	3.28	1.10	1.28
Silice	36.60	24.60	17.30
Total	99.60	99.21	94.44
A déduire l'oxygène équivalont au fluor.	0.44	0.65	0.73
	99.16	98.56	98.71
Matières non dosées et pertes	0.84	1.44	1.29
	100.00	100.00	100.00
Equivalent de l'acide phosphorique en phosphate de chaux	46.06	61.14	69.11
Equivalent de l'acide carbonique on carbonato de chaux	2.39	2.95	3.63
Equivalent du fluor en fluorure de calcium	2.75	3.18	3.58

Nièvre et Cher. — On trouve, dans ces deux départements, des phosphates à deux niveaux géologiques : dans les grès verts et dans le lias. Nous reviendrons plus loin sur ces derniers.

Dans ses « *Études géologiques sur le département de la Nièvre.* », M. Ebray, en décrivant les sables ferrugineux des environs de Sancerre et de Cosne, avait signalé à proximité de la ferme des Cadoux, commune de la Celle-sur-Loire, des escarpements ferrugineux composés de couches alternatives de sables et d'argiles, surmontés eux-mêmes d'une petite couche de *gravier*, que recouvrait de l'argile bleue ou grise, avec des grains verts, et, enfin, de la craie tufau. Le savant géologue ne paraît pas s'être douté de la nature phosphatée de la petite couche de gravier qu'il avait remarquée au milieu des sables ferrugineux de la Celle-sur-Loire ; mais il avait cependant indiqué, parmi les fossiles accompagnant les graviers dont il s'agit, l'*Ammonites Inflatus*, fossile caractéristique de la partie supérieure de l'Albien. Muni de ces indications, M. Poncin entreprit des fouilles et reconnut, ainsi qu'il l'avait prévu, que la couche de gravier signalée par M. Ebray, était du phosphate de chaux.

M. Poncin découvrit ensuite de nombreux affleurements de la même couche de graviers phosphatés, à *Ammonites Inflatus*, sur diverses parties du territoire de la commune de la Celle-sur-Loire, et vers Myennes. Poursuivant ses recherches de l'autre côté de la Loire, M. Poncin découvrit encore d'autres gisements, dans le département du Cher, sur les communes de Savigny, d'Assigny, etc. Tous les affleurements de graviers phosphatés trouvés dans ces communes, présentent de nombreux moules d'*Ammonites Inflatus*, absolument semblables à ceux de la couche de graviers des Cadoux, déterminés par M. Ebray. Ces phos-

phates appartiennent donc aux grès verts supérieurs, c'est-à-dire à la partie supérieure de l'Albien ou Gault.

Les phosphates des grès verts de la Nièvre et du Cher sont encore peu exploités. Ils sont bruns-jaunâtres, et dosent de 35 à 42 0/0 de phosphate réel. La gangue est principalement formée par un sable quartzeux blanc et très dense, qui se dépose rapidement quand on soumet la poudre du phosphate à des lavages à l'eau. On peut, selon M. Desailly, enrichir notablement ces phosphates par le procédé suivant : la poudre du phosphate est agitée énergiquement avec de l'eau ; on décante rapidement et on sépare ainsi du sable, un liquide tenant en suspension le phosphate enrichi ; on laisse déposer, on décante l'eau et on fait sécher le phosphate. Le sable séparé retient encore de 15 à 20 0/0 de phosphate,

Voici une analyse du phosphate du Cher, à l'état normal, et, en regard, l'analyse d'un phosphate enrichi :

	ÉTAT NORMAL.	ENRICHI.
Eau à 100°..................................	1.15	1.60
Matières volatiles au rouge sombre............	1.75	2.80
Acide phosphorique.........................	18.61	29.29
— sulfurique............................	0.27	0.72
— carbonique............................	1.20	3.20
Fluor..	1.66	1.63
Chaux.......................................	25.25	40.32
Magnésie....................................	traces.	0.07
Alumine.....................................	1.90	2 56
Oxyde de fer................................	2.95	8.28
Silice.......................................	44.74	8.90
Total......................................	99.48	99.37
A déduire l'oxygène équivalent au fluor.	0.69	0.68
	98.79	98.69
Matières non dosées et pertes..................	1.21	1.31
	100.00	100.00
Equivalent de l'acide phosphorique en phosphate de chaux................................	40.62	63.94
Equivalent de l'acide carbonique en carbonate de chaux................................	2.72	7.27
Equivalent du fluor en fluorure de calcium......	3.41	3.35

Nous donnerons plus loin l'analyse du phosphate du lias, que l'on extrait dans le département de la Nièvre.

Citons, pour mémoire, un gisement près de Nevers, à l'ouest de Germigny, car ce phosphate, quoique abondant, est d'un titre trop bas (14 à 16) pour être exploité.

Sarthe. — Dans ce département, la phosphorite a été observée par M. Guillier, à quatre niveaux différents, dans le terrain crétacé supérieur.

Le dépôt le plus important est à la base du terrain crétacé, presque au contact du terrain jurassique. Il affleure près de la Ferté-Bernard et de Saint-Cosme ; on le retrouve sur plusieurs points de la Normandie et du Bas-Boulonnais.

Les autres dépôts sont moins importants : l'épaisseur des couches est très faible.

Le deuxième dépôt, composé de nodules disséminés en petite quantité, se rencontre au Mans, au-dessus du banc que les ouvriers nomment le Jalais, à Yvré-Lévêque, à Ballou, à Saint-Mars.

La troisième couche est à la partie supérieure de la craie à *Terebratulla Bourgeoisii* et à *Ostrea columba;* on la trouve près de Connerré.

Le quatrième dépôt a été observé dans la craie blanche (craie à *Ostrea auricularis*), à Saint-Paterne et à Château-du-Loire.

Aucun de ces gisements n'a encore été exploité; le premier paraît seul susceptible de l'être.

Calvados. — La chaux phosphatée a été signalée dans ce département par MM. de Molon et Guillier. Elle n'y est pas exploitée.

C'est en étudiant la carrière de Saint-Vigor-le-Grand, que M. de Molon reconnut, le premier, le phosphate de chaux dans les couches qui reposent sur le lias.

La partie phosphatée se trouve à la base de l'*oolithe ferrugineuse* et à la partie supérieure de la Mâlière ; on rencontre deux couches : une supérieure, qui est moins cons-

tante et qui manque même quelquefois ; une inférieure, qui ne fait jamais défaut.

La zone phosphatée supérieure a une épaisseur d'environ 15 centimètres ; elle se compose de nodules enveloppés de couches concentriques d'un dépôt ferrugineux ; la grosseur de ces nodules varie du volume d'une noisette à celui du poing.

Cette couche repose sur le banc phosphaté inférieur, ou banc de la Mâlière ; ce dernier est à peu près compacte et il rappelle, par son aspect et sa structure, le *tun* des environs de Lille. Le banc de la Mâlière, qui est le plus important, a une épaisseur de 15 à 25 centimètres. Ces deux bancs ont été observés soit ensemble, soit isolément, dans les contrées suivantes :

Arrondissement de Bayeux.	Cantons de	Trévières. Ryes. Bayeux.
Arrondissement de Caen.	Cantons de	Tilly-Caen-Evrecy. Bourguébus-Bretteville-sur-Laize.

Ces couches affleurent suivant une ligne traversant obliquement le Calvados dans la direction S.E.-N.O., sur un parcours de 60 kilomètres ; elles plongent ensuite vers la mer avec une inclinaison de deux centimètres par mètre. Les points extrêmes des gisements exploitables se trouvent entre Formigny et Bretteville, dont la distance à vol d'oiseau est de 40 kilomètres.

C'est dans les environs de Bayeux que les couches phosphatées présentent la plus grande importance ; le banc supérieur a une puissance de 10 à 15 centimètres, et l'inférieur de 20 à 30 centimètres. La puissance de ces deux bancs est,

au *minimum*, de 20 centimètres, quand ils se trouvent réunis.

On ne pourrait extraire, dans le Calvados, tout le phosphate à ciel ouvert; la majeure partie des couches, vu leur profondeur, exigerait des exploitations en galeries. M. de Molon estime que l'extraction à ciel ouvert pourrait produire quatre cent cinquante mille tonnes, et l'extraction souterraine, le chiffre énorme de plus de cent cinquante millions de tonnes.

Côte-d'Or (Auxois). — C'est à l'ingénieur M. de Bonnard que revient l'honneur de la découverte du phosphate de chaux de l'Auxois. En 1822, M. de Bonnard remarqua à Saint-Thibauld, dans la tranchée du canal de Bourgogne, qu'il faisait alors creuser, des rognons blancs, dont les analyses de M. Berthier lui révélèrent la nature. M. Berthier y trouva :

Phosphate tricalcique...	74
Carbonate de chaux....	10
Argile................	16
	100

Cette découverte est décrite dans les *Annales des mines* de 1825, et citée seulement à titre de curiosité purement scientifique.

M. Poncin, le premier, songea à utiliser industriellement les phosphorites signalées par M. de Bonnard; ce dernier s'était mépris sur leur position géologique; M. Poncin reprit cette étude et vit que le phosphate de Saint-Thibauld appartenait au Lias; favorisé par les nombreuses coupes fournies par les tranchées du chemin de fer des Laumes à Avallon, qui était alors en construction

(1872 à 1875), il constata l'extension de la phosphorite à travers les deux Auxois, depuis Arnay-le-Duc jusqu'à Saint-Thibauld, et depuis Semur jusque près d'Avallon. M. Poncin poursuivit ensuite les affleurements sur tout le Lias du pourtour du bassin de Paris et sur celui du bassin du Rhône; il constata la présence de la phosphorite, notamment dans les départements de la Nièvre, du Cher, de l'Indre, de Saône-et-Loire, de la Haute-Saône, de la Haute-Marne, des Vosges, de Meurthe-et-Moselle.

On trouve, dans la Côte-d'Or, le phosphate dans trois étages : *Albien*, ou Gault; *Sinémurien*, ou Lias inférieur; *Rhétien*, correspondant au Bone-Bed. L'étage *Albien* est représenté par des lambeaux peu étendus, situés au nord-est de Dijon. Les phosphates de l'étage *Rhétien* sont inexploitables. On n'extrait donc que la phosphorite de l'étage *Sinémurien* ou *Lias inférieur*. Dans cet étage, M. Courtois a rencontré le phosphate dans trois zones :

Zone à Ammonites *Birchii* ;
— — *Bucklandi*;
— — *Rotiformis ;*

la première zone est la seule exploitée; les deux autres ne renferment presque point de nodules.

C'est surtout dans la vallée de l'Auxois que l'on extrait la phosphorite; les deux principaux centres d'exploitations sont : l'un à proximité de la gare d'Epoisses, et l'autre vers Meilly-en-Montagne, dans la direction d'Arnay-le-Duc. Le phosphate se trouve dans un limon ferrugineux de couleur jaune foncé et souvent noirâtre, qui recouvre le calcaire à Gryphées Arquées, et qui est connu dans le pays sous le nom de *mâchefer*. Le lit de phosphate est formé de nodules irréguliers, quelquefois blanchâtres, mais le plus

ordinairement jaunâtres, d'une pâte excessivement tendre. La densité de ce phosphate est très faible : un mètre cube pèse à peine une tonne. Sa cassure est mouchetée de gris avec quelques veinules noirâtres. La grosseur des nodules varie entre celle du poing et celle d'une noix, et même d'une noisette. Généralement, ils ont une surface arrondie, mais on en voit un assez grand nombre présentant, sur une ou plusieurs de leurs faces, une forme anguleuse. On les trouve à une profondeur moyenne de 1^{m},15 à 1^{m},50 ; dans certaines localités, comme au parc Changy, près d'Epoisses, il faut creuser jusqu'à 1^{m},80 et même 2 mètres ; parfois, comme à Torcy, le dépôt est assez superficiel pour être retourné par la charrue.

Sur quelques points de l'Auxois, les nodules de phosphate ne se rencontrent pas dans de l'argile jaunâtre ou noirâtre, comme nous venons de l'exposer, mais empâtés dans des bans de calcaire compacte dur, du même niveau géologique. Ce n'est même généralement qu'empâtés de cette façon dans du calcaire, que les nodules phosphatés du lias se rencontrent dans le Lyonnais, dans la Loire, dans le Jura, etc.

La couche des nodules a une épaisseur de 5 à 40 centimètres, mais le plus ordinairement elle n'a que de 10 à 15 centimètres, et les nodules sont disséminés dans une grande quantité d'argile ; aussi le rendement est-il faible : 150 à 200 tonnes par hectare. Le lavage est très difficile, à cause de la masse argileuse qui accompagne. Ces nodules sont trop friables pour être soumis à un lavage énergique, comme on le pratique dans les Ardennes et la Meuse. Le lavage des nodules de l'Auxois se fait de la manière suivante : on place le phosphate sur un crible plongeant dans un baquet rempli d'eau, et on l'agite, soit avec les mains, soit avec une pelle en bois ; la terre se détache et passe à

travers le crible; on recommence la même opération plusieurs fois, jusqu'à ce que la dernière eau de lavage soit à peu près limpide.

Les principales exploitations se trouvent sur les territoires de Semur, Epoisses, Aisy, Meilly, Mimeur, Musigny, Torcy, Semercy, Magnien, Vic de Chassenay, Vic de Aussenay, Arnay-le-Duc, Courcelles, Montberthauld, etc.

La phosphorite de l'Auxois dose assez régulièrement de 60 à 65 0/0 phosphate réel; elle contient peu de matières organiques et pas d'azote en proportions dosables; l'acide carbonique ne s'y trouve qu'en faible quantité, mais la teneur en fer et en alumine est assez élevée.

Le phosphate de l'Auxois est l'objet d'une exploitation importante : en mars 1877, on occupait pour son extraction plus de 500 ouvriers dans la région de Semur, et aujourd'hui, ce nombre est de beaucoup augmenté. Sa richesse relativement élevée en acide phosphorique le fait rechercher pour la fabrication du superphosphate. Malheureusement, il donne un produit pâteux et difficile à mélanger avec les matières azotées pour la préparation des engrais dits phospho-guanos : cela tient à ce qu'il ne renferme pas assez de chaux ; on pourrait facilement corriger ce défaut en y mêlant une certaine quantité de phosphate calcaire avant de le traiter par l'acide sulfurique.

Voici quelques analyses du phosphate de l'Auxois, tel qu'on le trouve dans le commerce :

	1	2	3
Eau à 100°	2.10	1.60	1.20
Matières volatiles au rouge sombre	2.10	2 50	2.30
Acide phosphorique	27.06	28.59	29.71
— sulfurique	traces.	0.17	0.17
— carbonique	2.60	2.50	2.20
Fluor	1.75	2.40	1.55
Chaux	35 84	37 92	38.08
Magnésie	traces.	0.18	traces.
Alumine	2.40	2.47	2.63
Oxyde de fer	7.35	7.24	7.45
Silice	18.00	14 40	14.20
Total	99.20	99.97	99.49
A déduire l'oxygène équivalent au fluor	0.73	1.01	0 65
	98.47	98.96	98.84
Matières non dosées et pertes	1.53	1.04	1.16
	100.00	100.00	100.00
Equivalent de l'acide phosphorique en phosphate de chaux	59.07	62.41	64 85
Equivalent de l'acide carbonique en carbonate de chaux	5.90	5.68	5.00
Equivalent du fluor en fluorure de calcium	3.59	4.94	3.16

D'après M. Collenot, les phosphates de l'Auxois et le limon qui les accompagne auraient été formés par la dissolution des roches sous-jacentes, par suite d'émissions hydrothermales qui se sont fait jour à l'époque de l'envahissement progressif de la mer jurassique sur le niveau primitif.

En 1873, M. Bordet a signalé dans la Côte-d'Or et la Haute-Marne un gisement de chaux phosphatée associée à du minerai de fer oolitique : on le voit le long du chemin de fer de Chaumont à Nuit-sous-Ravières. Ce phosphate est trop pauvre pour être exploité ; il ne renferme que 6 à 8 0/0 de phosphate.

Vosges. — En 1878, la chaux phosphatée fut reconnue dans les Vosges, sur le territoire des communes de Damblain et de Blévaincourt. Aujourd'hui, on commence à l'exploiter, mais ces exploitations ne paraissent pas devoir être fructueuses, à cause du faible rendement obtenu.

Le phosphate des Vosges se trouve, comme celui de la Côte-d'Or, dans le calcaire à *Gryphées arquées* ; sa densité est plus faible : un mètre cube pèse de 650 à 850 kilogrammes. Cette faible densité parait être due à la présence de cavités, qui, quelquefois, traversent les nodules presque de part en part. Ils sont formés d'une pâte fine, resserrée, excessivement friable, d'une couleur blanc-jaunâtre. L'épaisseur de la couche est de 15 à 40 centimètres. L'altitude où on rencontre ces phosphates varie entre 365 et 380 mètres.

Le phosphate que l'on a trouvé à Blévaincourt possède une coloration gris-bleuâtre. D'après M. P. Guyot, cette coloration serait due à de la *vivianite*, qui se serait formée par suite d'un séjour prolongé, et au contact de l'air et de l'eau, des rognons phosphatés dans un terrain ferrugineux. « On trouve dans cette coloration, ajoute M. Guyot, « une preuve évidente de la formation contemporaine « de la vivianite, que J. Nicklès a essayé de démon- « trer en 1855, par l'analyse de deux os bleus trouvés « dans le charnier d'Eulmont. Or, il est à remarquer qu'il « existe à Eulmont une source minérale ferrugineuse, qui « a eu une certaine vogue au siècle dernier ».

Nous ne nous étendrons pas plus longuement sur ces phosphorites, dont le mode de gisement présente les mêmes caractères que dans la Côte-d'Or; disons seulement que les principales exploitations se trouvent dans les environs de Mirecourt et de Châtenois. Voici leur analyse :

	1	2
Eau à 100°	2.90	2.60
Matières volatiles au rouge sombre	3.00	2.80
Acide phosphorique	30.85	28.52
— sulfurique	1.63	0.58
— carbonique	2.30	1.90
Fluor	1.17	1.29
Potasse	0.10	—
Soude	0.23	—
Chaux	42.83	36.40
Magnésie	0.28	traces.
Alumine	2.23	2.52
Oxyde de fer	3 80	5.46
Silice	8.10	17.60
Total	99.42	99.67
A déduire l'oxygène équivalent au fluor	0.49	0.54
	98.93	99.13
Matières non dosées et pertes	1.07	0.87
	100.00	100.00
Equivalent de l'acide phosphorique en phosphate de chaux	67.56	62.26
Equivalent de l'acide carbonique en carbonate de chaux	5.22	4.31
Equivalent du fluor en fluorure de calcium	2.42	2.65

Nièvre, Yonne, Cher, Indre, Saone-et-Loire, etc. — Dans ces départements, que nous avons déjà cités, on trouve du phosphate appartenant au même niveau géologique, c'est-à-dire au Lias, et dont la plupart des gisements ont été découverts par M. Poncin. On ne trouve guère d'exploitations que dans l'Yonne et la Nièvre. Nous avons déjà vu que l'Yonne produisait du phosphate, des grès verts (Bléneau) ; il existe aussi des exploitations de phosphorites du Lias (Guillon, Avallon).

Dans la Nièvre, on voit des extractions, peu importantes du reste, dans les environs de Savigny et de Cosne : le phosphate exploité jusqu'à ce jour paraît être un peu plus riche que celui de la Côte-d'Or.

Pour éviter des redites, nous croyons inutile de décrire la phosphorite de ces départements : elle présente absolument les mêmes caractères et possède les mêmes propriétés que celle de la Côte-d'Or. Nous nous bornerons à donner quelques analyses de ce phosphate. L'analyse « Meurthe-et-Moselle » a été faite sur un ensemble de nodules ramassés à la surface du sol, dans ce département.

	NIÈVRE.			MEURTHE et MOSELLE.
	1	2	3	
Eau à 100°	0.80	3.00	2.00	1.80
Matières volatiles au rouge sombre	1.10	1.20	1.30	2.90
Acide phosphorique	32.42	31.66	29.67	28.78
— sulfurique	0.17	traces.	0.17	0.55
— carbonique	2.39	1.89	2.89	2.30
Fluor	2.07	2.44	3.11	1.87
Chaux	39 49	42.85	38.62	37.52
Magnésie	traces.	traces.	0.52	0.28
Alumine	2.11	4.03	3.70	1.89
Oxyde de fer	6.99	4.85	5.92	4.82
Silice	12.80	8.50	12.70	16.20
Total	100 34	100.42	100.60	98.91
A déduire l'oxygène équivalent au fluor.	0.87	1.02	1.30	0.78
	99.47	99.40	99.30	98.13
Matières non dosées et pertes	0.53	0.60	0.70	1.87
	100.00	100.00	100.00	100.00
Equivalent de l'acide phosphorique en phosphate de chaux	70.79	69.11	64.77	62.82
Equivalent de l'acide carbonique en carbonate de chaux	5.45	4.31	6 58	5.22
Equivalent du fluor en fluorure de calcium	4.26	5.02	6.39	3.85

HÉRAULT.— La découverte des gisements de phosp hae de chaux de l'Hérault est due aux recherches de M. Jaille,

l'un des principaux exploitants du Quercy. Malheureusement, ce phosphate n'a pu être l'objet d'une industrie fructueuse, et M. Jaille a abandonné les extractions, dont l'importance totale a été d'environ 350 tonnes.

M. Jaille signala la présence du phosphate, en 1878, d'abord dans le voisinage de la ville de Cette : plus tard, continuant ses recherches, il remarqua que le gisement s'étendait vers l'ouest. Mais en tous les points où on a atteint une profondeur de huit mètres au-dessous du sol, le phosphate s'est perdu, limité par une cavité remplie de stalactites.

Le phosphate de ce département se trouve dans les montagnes constituées presque entièrement par des calcaires jurassiques. Il est d'un blanc-jaunâtre, mat, avec des linéaments alternativement blancs ou couleur chamois, plus rarement noirs. Quelquefois on y trouve des noyaux de *calcite* cristallisée ; les rognons de phosphate sont plus compactes au centre qu'à la périphérie. La richesse est de 40 0/0 pour la partie terreuse, et 70 0/0 pour la partie compacte qui prédomine généralement. Le phosphate de l'Hérault est d'une grande pureté,

Les contrées exploitées étaient Béziers et principalement Frontignan.

Quercy (Lot, Tarn-et-Garonne, Aveyron). — La première découverte du phosphate dans le Quercy date de 1865, époque à laquelle M. Poumarède vint se fixer à la Caussade près de Caylus. Certaines pierres blanchâtres qu'il remarqua dans le sable du sol superficiel lui parurent être du phosphate de chaux, et l'analyse vint confirmer ses prévisions. En 1869, M. Poumarède mourut au milieu de ses essais, et ce ne fut qu'en 1870 que la découverte fut mise à profit par MM. Jaille et Maurice Poumarède.

Les gisements du Quercy sont très importants, tant pour la qualité que pour la quantité du phosphate ; aussi ont-ils été l'objet de nombreux travaux, parmi lesquels nous citerons ceux de MM. Daubrée, Leymerie, Delfortrie, Combes, Trutat, Filhol, Malinowski, Rey-Lescure, etc.

A peine les exploitations étaient-elles commencées à Caylus, que le phosphate était déjà signalé sur un grand nombre de points du Tarn-et-Garonne et du Lot, notamment à Carjac, situé à 40 kilomètres au nord de Caylus.

Le phosphate du Quercy se rencontre à la surface des plateaux jurassiques, à une altitude comprise entre 300 et 400 mètres ; les environs de Caylus et de Carjac sont notés, sur la carte géologique de France, comme appartenant à l'âge *oolithique moyen*.

La chaux phosphatée s'offre, dans cette contrée, sous la forme de *phosphorite* distincte de l'*apatite* par l'absence de cristallisation ; généralement, elle est blanche ou couleur chamois; quelquefois on y trouve des colorations grise, jaune ou rouge; elle se trouve tantôt en masses compactes, désignées sous le nom d'*Ostéolithes*, tantôt sous une forme mamelonnée, dont les couches concentriques rappellent assez bien les *traversins* des sources incrustantes et de la *calamine* ; quelquefois, ces couches concentriques sont faibles et de colorations alternantes analogues aux *agates* et à certains *quartz résinite* ; on y trouve souvent aussi des veines bleues. Les couches se détachent assez facilement et présentent à leur surface des dessins dentritiques provenant d'infiltration de peroxyde de manganèse, et affectant la forme de rameaux d'arbres; ce qui a fait supposer que ces dessins étaient formés par de petites plantes appartenant aux Fougères, aux Mousses et aux Lycopodes.

Les rognons de phosphate sont généralement pleins, d'une dimension variant de la noix à celle du poing. On

trouve parfois associés à ces phosphates de l'*hématite*, de la *pyrolusite*, quelquefois du fer oolithique, des argiles rouges ; on y rencontre également du chlore, du fluor et de l'iode.

Les masses de phosphate que l'on trouve dans le calcaire jurassique se rencontrent tantôt dans de vastes poches, tantôt sous la forme de veines allongées à parois parallèles et verticales. MM. Daubrée et Trutat ont observé que ces crevasses affectaient deux directions : E.N.E. – O.S.O.

Dans le Quercy, les gisements de chaux phosphatée s'étendent sur une longueur de 40 kilomètres du nord au sud, et sur une largeur de 7 à 8 kilomètres de l'est à l'ouest ; mais les gîtes s'amincissent rapidement dans la profondeur où ils se terminent par une simple fissure. Cependant il existe, dans le canton de Limogne, des carrières qui ont 80 mètres de profondeur ; celles de Larnagol atteignent 60 mètres. Quoiqu'il en soit, comme le fait remarquer M. Daubrée, il faut toujours se mettre en garde contre les illusions que fait naître l'épanouissement de ces dépôts à la surface.

L'iode, que l'on rencontre dans certains phosphates du Quercy, a été l'objet d'une exploitation industrielle bientôt abandonnée. C'est M. Frémy qui constata la présence de ce métalloïde. M. Thiercelin rechercha dans quelles proportions il était associé à la phosphorite, et trouva de 5 à 7/10000. M. Kuhlmann arriva aux mêmes résultats, en opérant sur des quantités beaucoup plus importantes que celles sur lesquelles avait opéré M. Thiercelin, le savant industriel y rechercha également le brôme. A cet effet, il traita, dans ses vastes fours à condensation, 5,000 kilos de phosphate des environs de Montauban, et il ne put y déceler que des traces de brôme, en se servant du procédé si ingénieux et si exact de M. Bouis. « La présence de « l'iode, dit M. Kuhlmann, pourrait faire croire que

« l'origine de ce corps est la même que celle qui amène ce « corps dans l'eau de la mer, et par suite dans les plantes « marines, mais l'absence du brôme vient à son tour dé- « truire cette hypothèse ».

On n'est pas d'accord sur l'âge précis auquel il convient de rapporter la formation des dépôts du Quercy: les uns les rangent dans l'époque quaternaire; d'autres, comme MM. Daubrée, Filhol, Trutat, dans la série tertiaire. Selon M. Filhol, ces dépôts appartiennent à la limite supérieure du terrain *Eocène*, ou inférieure du *Miocène* ; selon M. Rey-Lescure, une date suffisamment précise serait celle de *l'Eocène supérieur*, peut-être même de *l'Eocène moyen*, par suite de la découverte de nombreux débris de fossiles et de quelques mollusques de cette époque, dans l'intérieur ou dans le voisinage des poches à phosphate. Dans les nombreux débris de fossiles accompagnant les phosphorites du Quercy et que M. Trutat a étudiés, les espèces dominantes sont : des *Palæotherïum*, voisins du *Medium*, de Cuvier, de grands *Suilliens*, voisins du genre *Chœropotamus*, des *Lophodions*, et d'autres espèces, toutes éocènes.

La roche encaissante du phosphate du Quercy est composée d'une masse argilo-calcaire rougeâtre ou jaunâtre, et parfois riche en phosphate : elle porte alors le nom de terre phosphatée, et contient de 10 à 18 0/0 d'acide phosphorique. Tout récemment, un brevet a été pris par M. L'Hôte, pour l'enrichissement de ces terres phosphatées qui se trouvent aux bords de la vraie couche de phosphate. Ce procédé consiste à enlever le carbonate de chaux. S'inspirant des travaux de Gay-Lussac sur la décomposition des carbonates par la chaleur et la vapeur d'eau, l'auteur propose de chauffer ces terres phosphatées au rouge cerise, en les faisant traverser par un courant de vapeur d'eau ; la décar-

natation est complète. On lave la masse ainsi calcinée, avec de l'acide chlorhydrique dilué, marquant 1 degré Baumé, pour dissoudre la chaux ; le phosphate se dépose facilement, et, par des lavages répétés, on enlève tout le chlorure de calcium formé. Des phosphates carbonatés dosant primitivement 36,28 et 38,52 0/0 de phosphate réel, possédaient, après ce traitement, une teneur de 75,69 et 80,47. En raison du prix élevé de l'acide chlorhydrique, ce procédé n'a pu être appliqué industriellement.

L'argile de la roche encaissante est considérée, par certains auteurs, comme étant d'origine éruptive ; elle contient quelquefois des grains de minerai de fer. Généralement, cette roche est dépourvue de matières organiques, mais dans certaines contrées, à Concots entre autres, on y a trouvé de nombreux ossements dont la classification a été faite par MM. Gervais, Milne-Edwards et Filhol.

Les principales exploitations se trouvent dans les points suivants :

Tarn-et-Garonne..	Montauban, Caylus, Mouillac, Veylux, Montricoux, Servanac, Cantayrac, Sept-Fonds, etc.
Lot..............	Bach, Larnagol, St-Jean-de-Laur, Lugagnac, Gréalou, St-Projet, Escamps, Saillac, Carjac, etc.
Aveyron..........	Villeneuve, Claugnac, Naussac, Salles-Courbatiés. (Toutes ces communes se trouvent dans les environs de Villefranche).

On ne peut donner une teneur moyenne en acide phosphorique des phosphates de ces contrées : ils offrent des compositions très diverses ; cependant, la richesse en phosphate réel dépasse rarement 80 0/0.

Voici, du reste, l'analyse de différents types :

	1	2	3	4	5
Eau à 100°	4.50	3.10	2.05	2.15	4.25
Perte au rouge sombre	4.70	0.00	4.30	2.80	2.85
Acide phosphorique	22.63	27.24	29.54	35.62	36.05
— sulfurique	traces.	traces.	traces.	traces.	0.10
— carbonique	4.20	16.50	3.30	3.10	3.93
Fluor	2.04	0.00	1.64	1.30	2.05
Chaux	33.43	49.26	41.16	48.49	50.40
Magnésie	0.18	3.06	traces.	0.00	0.04
Alumine	7.54	0.10	5.11	0.54	0.38
Oxyde de fer	4.01	0.25	2.88	0.75	0.30
Silice	15.90	0.50	9.13	4.30	0.36
Total	99.13	100.01	99.11	99.05	100.80
A déduire l'oxygène équivalent au fluor	0.84	—	0.69	0.54	0.82
	98.29	—	98.42	98.51	99.98
Matières non dosées et pertes	1.71	—	1.58	1.49	0.02
	100.00	100.01	100.00	100.00	100.00
Equivalent de l'acide phosphorique en phosphate de chaux	49.40	59.46	64.49	77.76	78.69
Equivalent de l'acide carbonique en carbonate de chaux	9.54	37.50	7.50	7.04	8.93
Equivalent du fluor en fluorure de calcium	4.18	—	3.38	2.66	4.22

Quelle a éte l'origine de ces immenses dépôts phosphatés? Cette question a donné lieu à un grand nombre d'hypothèses.

A. Baudrimont pense que les phosphorites du Lot ont pour origine des guanos dont l'azote a disparu, par

suite d'une altération due à l'action de l'eau. La présence de certains éléments, ajoute Baudrimont, tels que le phosphate de fer, les carbonates de chaux et de magnésie, semblerait être une objection à cette manière de voir; mais on peut admettre que les carbonates y ont été apportés par les eaux, et que le phosphate de fer résulte d'une double décomposition. Après l'examen du gîte de Beduer, contenant de nombreux débris de Chéiroptères, M. Delfortrie a adopté également cette opinion. « A Créjols, « dit M. Filhol, j'ai découvert une exploitation d'où l'on « extrayait une brèche constituée en entier par des osse- « ments de chauve-souris ». Mais ce ne sont là que des faits isolés, et le nombre de ces gisements est par trop restreint pour qu'on puisse voir là une solution satisfaisante à la question.

D'autres auteurs pensent que ces dépôts sont constitués par des éruptions volcaniques, analogues à ceux que l'on rencontre dans certaines contrées de l'Amérique centrale. Mais comme le phosphate de chaux est loin d'être l'élément dominant dans les dépôts de cette nature, les partisans de cette théorie ont soin d'ajouter que les animaux auraient été écrasés sous les produits éruptifs, et auraient abandonné leur acide phosphorique au dépôt. Ces idées sont par trop étranges, comme le dit M. Filhol, pour qu'on puisse s'y arrêter.

On a pensé aussi que la phosphorite s'était formée dans les profondeurs de la mer recouvrant les terrains jurassiques, par l'influence d'eaux fluviales se jetant dans cette mer, après avoir traversé des terrains primitifs riches en apatite. M. Rey, partisan de cette opinion, fait remarquer que les mers de cette époque étaient peuplées de poissons et de mollusques, dont beaucoup avaient des proportions gigantesques, que leurs squelettes et leurs déjections, ri-

ches en phosphate, durent tomber au fond du lit et s'y accumuler pendant des milliers d'années, en même temps que les eaux fluviales apportaient le phosphate dissous des apatites. Mais on objecte, avec raison, que ces dépôts phosphatés ne contiennent pas de débris d'animaux marins; les quelques coquilles qu'on y trouve appartiennent à des espèces fluviatiles ou terrestres.

D'après le Dr Fitton, le phosphate calcaire serait principalement dû à l'accumulation prolongée de débris d'animaux, qui auraient été en partie dissous par de l'eau chargée d'acide carbonique, et déposés lentement sous forme de concrétions.

MM. Péron et Malinowski attribuent également au phosphate du Quercy une origine organique.

Dans leur remarquable travail publié dans le *Bulletin de la Société géologique de Normandie*, MM. Brylinski et Lionnet, après avoir discuté les diverses opinions émises au sujet de l'origine de ces dépôts phosphatés, ajoutent : « Il est permis de penser que l'origine de l'acide phospho- « rique dans les dépôts en question, est due en partie à des « sources formées par les eaux d'infiltration ayant tra- « versé des couches riches en débris organiques, en partie « à des sources thermales ou émanations gazeuses souter- « raines ».

M. Daubrée croit que l'origine thermale seule a pu suffire à constituer le dépôt sans l'intervention des organismes : le phosphate aurait été dissous par des eaux chargées d'acide carbonique, et déposé soit sous forme de concrétions, soit sous forme de filons. C'est aussi l'opinion de MM. Leymerie et Favre.

M. Trutat partage l'hypothèse émise par M. Daubrée, mais il conteste l'intervention de l'acide carbonique pour une partie de ces formations. Comme nous l'avons vu déjà,

ces dépôts affectent deux directions, qui coïncident avec deux failles : la faille du Varen, dirigée S.-O., et celle de la Bonnette, dirigée Nord-25°-Est. Les dépôts phosphatés parallèles à la faille de la Bonnette seraient les plus anciens et se seraient formés lentement. C'est pour ces derniers que M. Trutat n'admet pas l'intervention de l'acide carbonique, « attendu, dit-il, qu'il n'existe pas trace de corrosion sur les parois calcaires dans les fentes dirigées Nord-25°-Est ». Ces premiers dépôts seraient dus simplement à des eaux chargées de chaux phosphatée ; quant aux autres, il admet l'intervention de l'acide carbonique.

Contrairement à l'opinion de divers géologues, M. Daubrée n'a jamais hésité à penser que le phosphore de ces phosphates, malgré son association à des ossements fossiles, est d'origine inorganique et profonde. Après avoir cité les gisements phosphatés de Jumilla (province de Murcie), ceux d'Estramadure et d'autres, de nature inorganique, le savant géologue ajoute : « C'est dans les profondeurs « du globe, d'où dérivent les roches éruptives, que se trou- « vent les réservoirs principaux de phosphore, conformé- « ment à l'idée émise par Elie de Beaumont. C'est dans ces « réservoirs intérieurs que les terains stratifiés de l'Océan « ont principalement tiré, aux diverses époques et souvent « d'une manière indirecte, le phosphore qu'ils renferment. « En dehors même du globe terrestre, les météorites nous « apportent un argument décisif en faveur de cette conclu- « sion. Et en effet, comme l'a constaté Berzélius, les mé- « téorites renferment une petite quantité de phosphore ; « mais au lieu de constituer des phosphates comme dans « les roches terrestres, il se trouve à l'état de phosphure, « combinaison qui n'a pas encore été signalée dans notre « globe ; ces combinaisons constituent les phosphures de

« fer et de nickel, auxquels on a donné le nom de *Scheiber-*
« *site* et de *Rhabdite.* Ces observations ne s'appliquent pas
« seulement aux fers météoriques (*holasidères*, *syssidères*,
« *sporasidères*), mais aussi aux grains métalliques, quel-
« quefois extrêmement fins, qui sont disséminés dans les
« météorites dites pierreuses. On peut donc conclure, d'une
« façon générale, que tous les météorites renferment des
« phosphures, au moins en petite quantité. »

A la suite de son travail, M. Daubrée tire les conclusions suivantes : 1° les météorites nous apportent une preuve de la diffusion générale du phosphore à travers les espaces célestes, comme dans notre globe, à la surface duquel il remplit un rôle fondamental dans l'économie des êtres vivants ;

2° Dans ces masses extra-terrestres formées de silicates anhydres et dont les analogies avec les produits de voie sèche annoncent si clairement le mode de formation ignée, on est forcé de reconnaître, non moins que dans les roches volcaniques, l'origine inorganique du phosphore ;

3° Enfin, on a reconnu que ces météorites, et particulièment celles du type le plus commun, présentent des analogies frappantes avec certaines roches terrestres, notamment avec les roches éruptives basiques, que, d'autre part, des considérations purement géologiques amènent à considérer comme un réservoir de phosphore. Du reste, ajoute M. Daubrée, « les régions profondes du globe tiennent en
« réservoir le phosphore, aussi bien que d'autres corps,
« que l'on a pu longtemps croire l'apanage des parties ex-
ternes. »

NOTE SUR LA DÉCOMPOSITION DU PHOSPHATE BICALCIQUE PAR L'EAU

Quand on fait bouillir de l'eau tenant en suspension du phosphate bicalcique, la liqueur devient acide, et une notable quantité d'acide phosphorique entre en dissolution. J'ai recherché la nature de cette décomposition et les limites dans lesquelles elle pouvait se faire.

J'ai préparé du phosphate bicalcique, en traitant par l'eau de chaux du phosphate monocalcique pur ; le précipité formé a été recueilli alors que le liquide surnageant était encore très acide, puis lavé jusqu'à neutralité des eaux de lavage. Le produit obtenu était cristallin et parfaitement pur, ainsi que l'a démontré l'analyse. Desséché à 100°, il répond à la formule (PhO^5, 2 CaOHO,4HO) ; à 150°, il perd un équivalent d'eau et sa formule devient (PhO^5, 2 CaOHO, 3HO). Ce phosphate calciné contenait pour 100:

		Théorie.
Acide phosphorique..	55.83	55.91
Chaux..............	44.01	44.09

Les essais suivants ont été faits sur le phosphate simplement desséché entre deux feuilles de papier buvard. Dix grammes environ de ce phosphate ont été broyés et portés à l'ébullition dans 100 c. c. d'eau ; vers 90°, le liquide devint acide ; après un quart d'heure d'ébullition, la liqueur a été décantée sur un filtre. Le résidu a été soumis à une nouvelle ébullition dans le même volume d'eau et filtré.

La liqueur, parfaitement limpide, ne se trouble pas par le refroidissement. La chaux et l'acide phosphorique ont été dosés chacun sur un volume égal. J'ai obtenu :

Pyrophosphate de magnésie........	0 gr. 064
Carbonate de chaux..............	0 gr. 028

Ce qui correspond à :

Acide phosphorique..............	0 gr. 0409
Chaux..........................	0 gr. 0156

La théorie exige, pour la même quantité d'acide phosphorique, 0,0161 de chaux, au lieu de 0,0156 trouvé pour faire du phosphate monocalcique.

La partie insoluble a éte calcinée et a donné pour 100 :

Acide phosphorique..............	55.51
Chaux..........................	44.57

au lieu de 55,91 d'acide phosphorique et 44,09 de chaux, si le produit analysé était bien du pyrophosphate de chaux. Comme on le voit, il y a dans le résidu, diminution d'acide phosphorique et augmentation de chaux. On peut donc admettre qu'une partie du phosphate bicalcique se dédouble, sous l'action de l'eau bouillante, en phosphate monocalcique, d'une part, et en phosphate tricalcique, d'autre part :

$$2(PhO^5,2CaOHO) = PhO^5CaO,2HO + PhO^53CaO$$

Une expérience bien simple vient confirmer cette interprétation. Il est facile de constater que le phosphate bicalcique est soluble dans l'eau ; l'eau distillée bouillie, mise en contact avec un excès de phosphate bicalcique à 15°, a

donné pour un litre de solution saturée 0 gr. 088 de pyrophosphate de magnésie, ce qui correspond à 0 gr. 0562 d'acide phosphorique et à 0 gr. 1076 de phosphate bicalcique ($PhO^5 2CaO\,HO$). Un litre d'eau dissout donc, à la température de 15°, 0 gr 1076 de phosphate bicalcique, soit 1/9293.

Si l'on porte à l'ébullition une dissolution faite à froid de phosphate bicalcique, on observe le même phénomène ; vers 90°, la liqueur devient acide et se trouble. J'ai traité de cette manière plusieurs litres de dissolution faite à froid, et analysé le précipité. J'ai obtenu les résultats :

Pyrophosphate de magnésie...	0 gr. 106
Carbonate de chaux..........	0 gr. 145

Ce qui correspond à :

Acide phosphorique..........	0 gr. 0678
Chaux......................	0 gr. 0812

Pour une pareille quantité d'acide phosphorique, la théorie exige 0,0802 de chaux, au lieu de 0,0812 trouvé pour donner du phosphate tricalcique.

En opérant sur une dissolution de phosphate bicalcique faite à froid, la décomposition est complète ; mais il n'en est pas de même quand on opère en présence d'un excès de phosphate bicalcique ; lorsque celui-ci a été soumis deux ou trois fois à l'ébullition, la liqueur devient neutre. Il est probable qu'il tend à se faire un équilibre au sein du liquide, par une réaction inverse, le phosphate acide se saturant, pour ainsi dire, au fur et à mesure qu'il se forme, par le phosphate tricalcique, pour donner du phosphate bicalcique :

$$PhO^5 CaO 2HO + PhO^5 3CaO = 2\,(PhO^5 2CaO HO)$$

On pourrait rapprocher cette dernière réaction de celle qu'a observée M. Bourgoin à propos de la décoction blanche de Sydenham (*Journal de pharmacie et de chimie*, 1878). M. Bourgoin a démontré que le phosphate tricalcique pur éprouve une légère décomposition par l'action de l'eau bouillante ; mais si le phosphate contient du carbonate de chaux, la réaction est masquée, le phosphate acide étant saturé au moment même où il se forme pour donner du phosphate tricalcique :

$$PhO^5CaO2HO^2 + 2\ (CaOCO^2) = PhO^53CaO + 2CO^2 + 2HO$$

Ajoutons que le phosphate tricalcique que l'on trouve dans le commerce n'est qu'un mélange, en proportions variables, de phosphate tricalcique et de phosphate bicalcique; il renferme une quantité d'acide phosphorique variant entre 48 et 53 0/0, au lieu de 45,81 qu'indique la théorie.

Des analyses qui précèdent on peut conclure que :

1° Le phosphate bicalcique, sous l'influence de l'eau bouillante, se dédouble en phosphate monocalcique et phosphate tricalcique ;

2° La décomposition n'est pas complète, le phosphate monocalcique tendant à se combiner au phosphate tricalcique pour reformer du phosphate bicalcique ;

3° Pour que la décomposition soit complète, il faut opérer sur des dissolutions faites à froid, de phosphate bicalcique.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.

Abadie. — La clé des fumures. Toulouse, 1875.

Baudrimont (A.). — Sur la composition des guanos, sur les altérations qu'ils subissent et sur l'origine probable des phosphates du Lot. Comptes rendus, LXXVI, 1873.

Beaumont (Élie de). — Mémoires d'agriculture et d'économie rurale, 1856. — Étude sur l'utilité agricole et sur les gisements géologiques du phosphore, 1857.

Bèche (Sir Henri de la). — Discours anniversaire à la Société géologique de Londres, 1849.

Bobierre. — L'atmosphère, le sol et les engrais. Chimie agricole, 1872.

Bordet. — Sur un gisement de chaux phosphatée dans la Côte-d'Or. Journal d'agriculture pratique, 1873.

Boussingault. — Expériences sur le phosphate de chaux. Comptes rendus, XLV, 1857.

Brongniart. — Description géologique des environs de Paris, 1822.

Brylinski et Lionnet. — Phosphates de chaux fossiles. Géologie et origine. Application en agriculture. — Bulletin de la Société géologique de Normandie, 1877.

Collenot. — Note sur les phosphates de l'Auxois. Bulletin de la Société géologique, 1877.

Courtois. — Sur le phosphate de la Côte-d'Or. Journal d'agriculture pratique, 1878.

Cultivateur Agenais (Journal du). — Sur le phosphate du Quercy, 1872.

Daubrée. — Mémoires d'agriculture et d'économie rurale, 1867.
— Des gisements géologiques du phosphore, 1867.
— Sur les nouveaux gisements de chaux phosphatée. Annales des mines, 1868, XIII.
— Sur les phosphates du Quercy. Comptes rendus, LXXIII, 1871.
— Des terrains stratifiés considérés au point de vue des substances qui les constituent. Bulletin de la Société géologique de France, 1871.
— Sur l'origine du phosphore dans ses différents gisements et en particulier dans ceux du Quercy. Moniteur scientifique de Quesneville, 1879.

Déhéran. — Chimie agricole, 1873.

Delanoue. — Note sur le phosphate de chaux. Comptes rendus, XLIX, 1859. — Congrès scientifique de France, 20e série, t. I.

Delesse. — Bulletin des séances de la Société centrale d'agriculture de France, 1877.

Delesse et Lapparent. — Annales des mines : extrait de la Revue de géologie :
— 1864. Phosphates du Quercy, de la Belgique, du Dauphiné.
— 1872. — dans le Maine-et-Loire, le Pas-de-Calais, les Flandres, la Sarthe, le Quercy et Bellegarde.
— 1873. — du Quercy, du Hainaut.
— 1875. — du Calvados.
— 1879. — de la Côte-d'Or.

DELFORTRIE. — Les gîtes de phosphate de chaux du Lot. Bordeaux, 1873.

DEMOLE. — Rapport à la classe d'agriculture de Genève, 1870.

DEWAELKE. — Phosphate de chaux de Ramelot. Annales des mines, 1864.

DESCHAMPS. — Réponse à MM. de Molon et Meugy. Comptes rendus, XLIX, 1859.

D'ORMÉLIUS et DEWAELKE. — Phosphate de chaux de Ramelot. Annales des mines, 1866.

EBRAY. — Études géologiques sur le département de la Nièvre.

ENQUÊTE sur les engrais industriels. Dépositions. 1865.

FAWTIER. — De l'emploi des os pilés comme engrais dans la Grande-Bretagne. Annales de Roville. 1830.

FILHOL. — Recherches sur les phosphates du Quercy. Annales des sciences géologiques, t. VII.

— Phosphate du Quercy. Journal de géologie, t. 1er.

GRUNER. — Phosphate de Bellegarde. Bulletin de la Société géologique de France, 1871.

GUYOT. — Sur deux gisements de chaux phosphatée dans les Vosges. Comptes rendus, LXXXVI, 1878.

HEUZÉ — Sur les phosphates de Quercy. Bulletin des séances de la Société d'agriculture, 1875.

JAMET. — Emploi du phosphate de chaux naturel dans l'alimentation du bétail. Journal d'agriculture pratique, 1861.

JOURNAL D'AGRICULTURE PRATIQUE DE 1878. — Extraction du phosphate de chaux en France, en 1877.

KLAPROTH et WOLFF. — Dictionnaire de chimie, traduit de l'allemand par Bouillon-Lagrange et Vogel, 1810 (Apatite.)

KUHLMANN. — Recherche du brome dans le phosphate du Tarn-et-Garonne. Comptes rendus, LXXV, 1872.

L'HOTE. — Sur un procédé d'enrichissement des phosphates à gangue carbonatée. Comptes rendus, LXXXVIII, 1879.

LORY. — Description géologique du Dauphiné, 1861.

MALINOWSKI. — Sur l'origino du phosphate du Quercy. Comptes rendus, LXXIII, 1871.

MARGRAFF. — Opusculos chimiques.

MELSENS. — Note sur l'importance du gisement de phosphate de chaux des environs de Ciply (Hainaut). Académie royale de Belgique, juillet 1874.

MEUGY. — Sur les phosphates des Flandres. Bulletin de la Société géologique, 1852-53.

— Sur un nouveau dépôt de phosphate. Comptes rendus, XLIII, 1856.

— Mémoire sur la découverte du phosphate de chaux. Annales des mines, 1857, t. V.

— Réponse à M. Delanoue. Comptes rendus, XLIX, 1859.

MEUGY et NIVOIT. — Statistique agronomique de l'arrondissement de Vouziers, 1873.

De Molon. — L'agriculture et le phosphate de chaux. Coulommiers, 1877.
— Réponse à M. Delanoue. Comptes rendus, XLIX, 1859.
— Note sur le phosphate du Calvados. Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1874.

De Molon et Thurneisen. — Mémoire sur la découverte en France des gisements de phosphate de chaux fossile. Comptes rendus, XLIII, 1856.

Nivoit. — L'industrie dans les Ardennes. Charleville, 1869.
— Phosphate de chaux de la Meuse. Annales des mines, 1872.
— — Notice sur l'exploitation et gisements des phosphates de chaux de la Meuse, 1871 et 1875.
— Phosphate de la Côte-d'Or. Annales des mines, 1879.

Payen. — Mémoires de la Société royale d'agriculture.

Pelletier. — (Apatite.) Annales des mines, t. VII.

Petermann. — Les engrais à l'exposition de Vienne.

Le Play. — Annales des mines de 1834.

Rénevier — Mémoire géologique sur la perte du Rhône.

Rey-Lescure. — Rapport sur le phosphate du Lot. Cahors, 1872.
— Note sur les phosphatières du Tarn-et-Garonne. Bulletin de la Société géologique de France, 1875.
— Phosphate de chaux du Quercy. Dislocations et plissements dans les terrains du sud-ouest. Moniteur scientifique de Quesneville, 1879.

De Richmond. — Action du phosphate de chaux sur la végétation. Journal d'agriculture pratique, 1849.

Risler. — Rapport à la classe d'agriculture de Genève, 1872.

Ronna. — Fabrication et emploi des phosphates de chaux.

De Saussure (Th.). — Recherches chimiques sur la végétation, an XII.

Sauvage et Buvignier. — Statistique du département des Ardennes, 1842

Trutat. — Sur les phosphates de Quercy. Comptes rendus, LXXIII, 1871

Valenciennes. — Sur les rognons de chaux phosphatée Journal d'agriculture pratique, 1857.

Vauquelin. — (Apatite.) Journal des mines, t. XXXVII.

Wickersheimer — Note sur un gîte de phosphate de chaux situé près de Cette. Annales des mines, 1879.

Yermolow. — Sur les phosphates de Russie. Journal d'agriculture pratique, mai 1872.

Vu et permis d'imprimer,
Le vice-recteur de l'Académie de Paris,
GRÉARD.

Bon à imprimer,
CHATIN.

TABLE.

	Pages.
HISTORIQUE	5
Phosphate de Norwège	12
— Espagne	13
— Angleterre	13
— Caroline du Sud	14
— Nassau	14
— Belgique	14
— Russie	15
Gisements français de phosphate de chaux	20
Ardennes	21
Meuse	21
Marne	35
Yonne	35-61
Pas-de-Calais	36
Ain (Bellegarde)	38
Haute-Savoie	40
Jura	42
Drôme	43
Gard	45
Ardèche	46
Vaucluse	46
Nièvre	49-61
Cher	49-61
Sarthe	52
Calvados	52
Côte-d'Or	54
Vosges	59
Indre]	55-61
Saône-et-Loire	55-61
Haute-Marne	55
Haute-Saône	61
Meurthe-et-Moselle	61
Hérault	62
Quercy (Lot, Tarn-et-Garonne, Aveyron)	63
Sur la décomposition du phosphate bicalcique par l'eau	73
Index bibliographique	77

